

УДК 621

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОПЛАСТИКОВЫХ КОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ 3D-ПЕЧАТЬЮ

А. А. Рыжкин¹

¹Alex.sandr00@bk.ru

¹ ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

Поступила в редакцию 26.04.2023

Аннотация. В статье рассматриваются новые металлопластиковые композиты, описаны исследования на растяжение, удельный вес, пористость образцов, полученных путем применения аддитивных технологий из ABS пластика и стали 12X18H10T. В результате исследований определены механические свойства изделий из металлопластикового композита. Установлено различие в прочности между изделиями из ABS пластика и металлопластика ABS+12X18H10T; экономическое сравнение двух изделий, полученных аддитивным методом из ABS пластика и металлопластика; зависимость предела прочности при растяжении детали из пластика и металлопластикового композита от процента заполнения.

Ключевые слова: композиты, металлопластик, металл-наполненные пластики, дуплексная технология 3D-печати, аддитивные технологии.

ВВЕДЕНИЕ

Аддитивные технологии, или технологии 3D-печати, являются современными и перспективными способами производства изделий различной конфигурации. Традиционные методы производства изделий предусматривают удаление с заготовки лишнего материала либо использование литьевых процессов и пр., а при аддитивных технологиях происходит послойное формирование изделия с использованием различных технологических методов и устройств [1]. Однако, несмотря на широкое распространение 3D-печати пластиком, в открытой печати недостаточно полно представлены данные об исследованиях механических характеристик изготавливаемых изделий, о влиянии комплекса режимных параметров печати на эти характеристики. В связи с этим невозможно спрогнозировать физические свойства конечной продукции [2–6]. Поэтому экспериментальные исследования влияния режимных параметров 3D-печати на механические характеристики изделия актуальны и представляют научный и практический интерес [7].

Открывающиеся возможности использования аддитивного построения детали могут быть рассмотрены с точки зрения образования металла внутри пластика, точно заданного по направлению расчетной силы нагрузки, для обеспечения заданных механических характеристик. Для создания подобных композитов применяются дуплексная технология печати, включающая в себя экструдер для печати пластиком, и наплавляемая головка для печати металлом. Печать металлом проводится за счет электродуговой наплавки с определенными режимами, отличными от сварки металлом. Отличается кратковременным сварочным импульсом с предварительным созданием дуги в межэлектродном пространстве для предотвращения оплавления

ния пластика и достижения лучшей адгезии двух материалов. Благодаря заданной направленности печати металла в металлопластиковых композитах достигается прочность в нужных направлениях нагрузки детали. Тем самым изготовление композитов ускоряется в разы, и исключаются проблемы в производстве сложных армирующих элементов внутри наполнителя. Увеличивается вероятность получения деталей со схожими характеристиками, рассчитанными в САЕ-системах, при печати данным методом.

Таким образом, целью данной работы является исследование прочностных характеристик металлопластикового композита при растяжении, полученного методом 3D-печати по дуплексной технологии.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для создания композитных образцов, служит 3D-принтер (рис. 1) работающий на принципе дуплексной технологии печати металлом и пластиком одновременно.

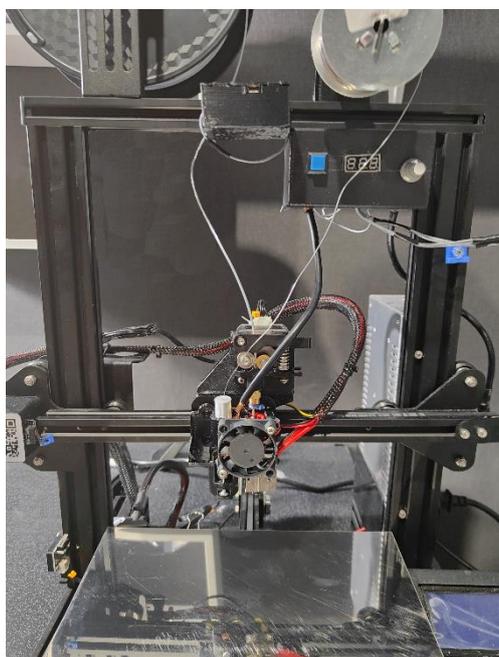


Рис. 1. 3D-принтер, работающий на принципе дуплексной технологии печати металлом и пластиком

В основе этого метода лежит наплавление металлической проволоки на подложку, послойное сваривание проволоки между собой с помощью импульсного разряда и прокладкой ее в полостях пластика. Принцип работы состоит из трех процессов (рис. 2): пробой межэлектродного пространства, между подложкой и электродом, электроискровым разрядом; зажигание высокоточной дуги с изменением полярности под определенной формой импульса, с контролем наплавления с помощью определения нагруженности источника тока; гашение дуги.

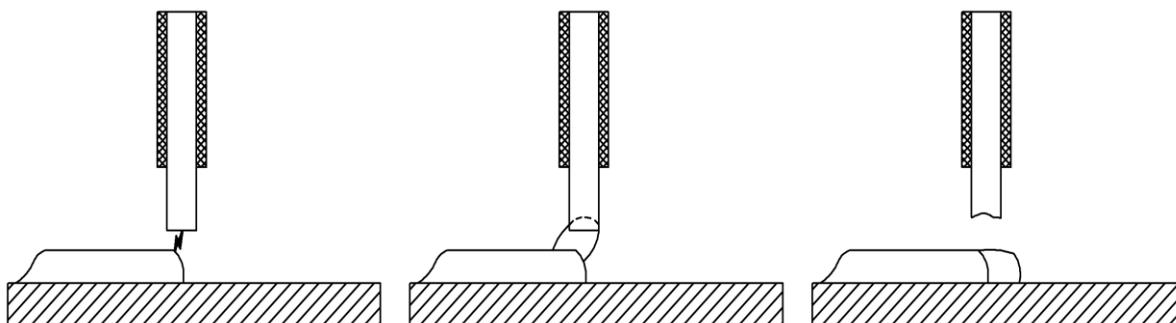


Рис. 2. Схема наплавки

Пластиковая оболочка создавалась по FDM-технологии по ГОСТ 59100–2020 [9]. Позиционирование «печатной головки» осуществляется по пяти координатам. Дополнительно к основным перемещениям в трех плоскостях координатный стол обладает функционалом изменять угол наклона и вращаться вокруг вертикальной оси. Таким образом, возможны различные вариации формирования структуры армирующей части и непрерывной ее печати.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ НА РАСТЯЖЕНИЕ [10–12]

Образцы (рис. 3) для сравнения были напечатаны по ГОСТ 11262–2017 [8] из пластика ABS и армированы металлической проволокой из стали 12Х18Н10Т.

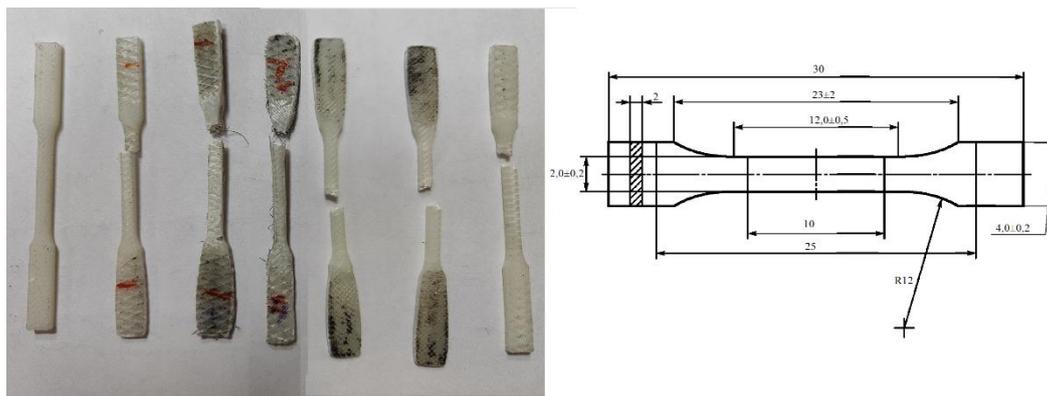


Рис. 3. Образцы для испытаний на растяжение

Доля металла в композите составила в среднем 10%. Разница веса композитного и пластикового образца составила 3,17% (табл. 1).

Таблица 1

Масса полученных образцов

№	Состав	Заполнение пластика, %	Масса, г
1	ABS	40	0,148934
2	ABS	80	0,277869
3	ABS	100	0,347337
4	ABS+Me	80	0,287173
5	ABS+Me	100	0,358348

Предел прочности на растяжение определялся на разрывной машине INSTRON 3369.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

По результатам исследования образцов на испытательной машине для проверки механических характеристик при растяжении были получены графики зависимости напряжения при растяжении от удлинения образцов (рис. 4), установлен предел прочности при растяжении изделия из ABS пластика и металлопластика ABS+12Х18Н10Т.

Полученные результаты представлены в табл. 2. На основе результатов установлено, что прочность и предел текучести деталей из пластика повышаются за счет армирования металлом.

Исходя из результатов опыта при повышении веса детали на 3% прочность металлопластиковых (армированных) деталей повысилась на половину от прочности деталей из ABS пластика. По результатам обработки экспериментальных данных (рис. 3) установлена зависимость предела прочности при растяжении изделий из ABS пластика от массы изделия, которая прямо зависит от заполнения/пористости

$$\sigma_p = n^2,$$

где σ_p – предел прочности при растяжении, МПа; n – процент заполнения.

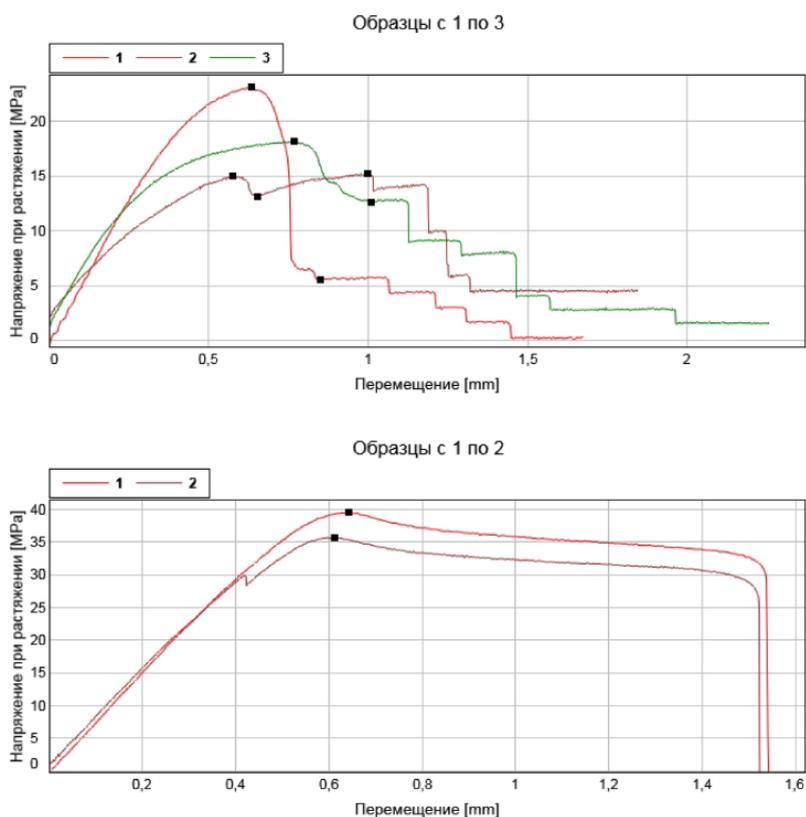


Рис. 4 Графики зависимости напряжения при растяжении от удлинения, где:
 сверху: 1 – ABS с заполнением 100%; 2 – ABS с заполнением 40%; 3 – ABS с заполнением 80%.
 снизу: 1 – ABS+Me с заполнением 100%; 2 – ABS+Me с заполнением 80%

Таблица 2

Результаты проведенных экспериментов

№	Состав	Максимальное напряжение при растяжении, МПа	Напряжение при пределе текучести, МПа	Максимальная сила, N
1	ABS	15,21	7,64	70,86
2	ABS	18,12	10,53	94,57
3	ABS	23,09	17,76	104,04
4	ABS+Me	35,76	28,96	148,67
5	ABS+Me	39,54	33,26	165,28

Зависимость показала, что заполнение/пористость оказывает существенное влияние на прочность. Для заполнения 40% предел прочности при растяжении составляет 15,21 МПа, при заполнении 100% предел прочности составляет 23,09 МПа, что в 1,5 раза больше. Также по результатам обработки экспериментальных данных (рис 4) установлена зависимость предела прочности при растяжении изделий из ABS пластика и металлопластика ABS+12X18H10T от процента заполнения/пористости и армирования 3% металла

$$\sigma_p = n^2 \cdot 1,58862,$$

где $\sigma_{р.м.пл.}$ – предел прочности при растяжении металлопластика, Мпа; n – процент заполнения пластиком.

Зависимость показала, что заполнение/пористость оказывает существенное влияние на прочность. Для заполнения 80% предел прочности при растяжении после армирования детали повысился в 2 раза, увеличившись в весе на 3,34%. При заполнении 100% предел прочности при растяжении после армирования детали повысился в 1,8 раз, увеличившись в весе на 3,17%.

По предварительному расчету, разница стоимости изготовления изделия из пластика и металлопластика составила 1,267% от стоимости пластика. В сравнении с композитным изделием стоимость примерно одинаковая в среднесерийных деталях, но она в разы сокращается при единичном и мелкосерийном выпуске деталей, так как не требуется изготовление оснастки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье представлены результаты исследования нового материала – металлопластик, полученного по дуплексной технологии 3D-печати, который состоит из наполнителя – ABS пластика и армирующей части – металл 12X18H10T. Изделия распечатаны по 3D-модели, составленной в цифровом двойнике по симуляции нагрузки на растяжение.

Исследования были проведены на предел прочности при растяжении, определение зависимости пористости изделия и веса.

Определена зависимость веса и пористости, пористости и предела прочности, предела прочности от армирования.

Установлено, что пористость прямо зависит от массы изделия и квадратично повышает предельную прочность изделий. Также установлено, что армирование металлом изделий любой пористости на 3% от общего веса повышает предел прочности в 2 раза.

Разработанные 3D-модели деталей в системе автоматического проектирования могут быть доработаны в дополнительном приложении для создания армирующих слоёв, предварительно задав векторы нагрузки детали и предел прочности в программе. Таким образом, за счет использования этих программ прочность изделия увеличится без существенного увеличения стоимости. Появляется возможность быстро спроектировать прочное и легкое изделие, а с помощью 3D-печати создать его за короткое время.

Дальнейшие исследования предполагается продолжить в направлении исследования показателей увеличения прочности детали от процента заполнения металлом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зленко М. А., Попович А. А., Мутылина И. Н.** Аддитивные технологии в машиностроении. СПб.: Издательство политехнического университета Санкт-Петербурга, 2013. 210 с. [Zlenko M.A., Popovich A.A., Mutylyina I.N. Additive technologies in mechanical engineering. St. Petersburg Polytechnic University Publishing House, 2013]
2. **Zalobin M. Yu.** Experimental Determination and Comparative Analysis of the PPH030GP, ABS and PLA Polymer Strength Characteristics at Different Strain Rates // Наука и техника. 2019. Т. 18. №3. P. 233-239. [M. Yu. Zalobin (2019). Available: <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-3-233-239>]
3. **Cantrell J.** Experimental Characterization of the Mechanical Properties of 3D-Printed ABS and Polycarbonate Parts / J. Cantrell // Advancement of Optical Methods in Experimental Mechanics, Proceedings of the 2016 Annual Conference on Experimental and Applied Mechanics. 2016. No 3. P. 89-105. [J. Cantrell (2016), Available: https://doi.org/10.1007/978-3-319-41600-7_11]
4. **Galeta T.** Influence of Structure on Mechanical Properties of 3D-Printed Objects // Procedia Engineering. 2016. No 149. P. 100-104. [T. Galeta (2016), Available: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.644>]
5. **Rankoubi B.** Failure Analysis and Mechanical Characterization of 3D-Printed ABS with Respect to Layer Thickness and Orientation // Journal of Failure Analysis and Prevention. 2016. Vol. 3. No 16. P. 467-481. [B. Rankoubi (2016), Available: <https://doi.org/10.1007/s11668-016-0113-2>]
6. **Mohamed O. A.** Effect of Process Parameters on Dynamic Mechanical Performance of FDM PC/ABS Printed Parts Through Design of Experiment // Journal of Materials Engineering and Performance. 2016. Vol. 25. No 7. P. 2922-2935. [O. A. Mohamed (2016), Available: <https://doi.org/10.1007/s11665-016-2157-6>]
7. **Чабаненко А. В.** [и др.]. Технология аддитивного производства, моделирование и управление качеством процесса послойного синтеза. СПб.: ГУАП, 2018. 137 с. [Chabanenko A.V. [et al.]. Additive manufacturing technology, modeling and quality management of the layered synthesis process. St. Petersburg: GUAP, 2018. 137 p]

8. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 11262-2017.** Пластмассы. Метод испытания на растяжение. М.: Стандартиформ, 2018. 4 с. [*Plastics. Tensile testing method. Moscow: Standartinform, 2018. 4 p. Requirements, (in Russian), Federal standard R ISO/IEC 11262-2017, Moscow, Standatrinform, 2018.*]

9. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 59100-2020.** Пластмассы. Филаменты для аддитивных технологий. М.: Стандартиформ, 2020. 2 с. [*Plastics. Filaments for additive technologies. Moscow: Standartinform, 2020. 2 p. Requirements, (in Russian), Federal standard R ISO/IEC 59100-2020, Moscow, Standatrinform, 2020.*]

10. **Балашов А. В., Черданцев А. О., Новиковский Е. А., Ананьин С. В., Белоplotov С. В.** Исследование прочности изделий, полученных методом 3D-печати // Ползуновский вестник. 2016. № 2. С. 61-64. [A.V. Balashov, A.O. Cherdantsev, E. A. Novikovskiy, S. V. Ananyin, S. V. Beloplotov Strength study of products obtained by 3D printing // Polzunovsky vestnik. 2016. No. 2. P. 61-64.]

11. **Колесников А. А.** Ситуационное управление обеспечением качества изготовления изделий по технологии печати на 3D принтере на основе технологии FDM // Техника и технология: новые перспективы развития. 2014. № XII. С. 77-79. [A.A. Kolesnikov Rigid control of image packaging by 3D printing technology based on FDM technology // Techniques and techniques: new prospects for development. 2014. No. XII. P. 77-79.]

12. **Гайдос И., Слоц Дж.** Влияние условий печати на структуру в FDM прототипировании // Технический вестник. 2013. №20 (2). P. 231-236. [Gajdoš I., Slota J. Influence of Printing Conditions on Structure in FDM Prototypes // Tehnicki Vjesnik. 2013. №20 (2). P. 231-236].

ОБ АВТОРАХ

РЫЖКИН Александр Алексеевич, студ. каф. ТМ. Дипл. Проектирование технологических машин и комплексов (УУНИТ)

METADATA

Title: Investigation of the properties of metal-plastic

Authors: A. A. Ryzhkin ¹

Affiliation:

¹ Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.

Email: ¹ Alex.sandr00@bk.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 3 (29), pp. 132-137, 2023. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The article discusses new metal-plastic composites, describes studies on tensile strength, specific gravity, porosity of samples obtained by applying additive technologies from ABS plastic and 12X18H10T steel. As a result of the research, the mechanical properties of metal-plastic composite products were determined. The difference in strength between products made of ABS plastic and metal plastic ABS+12X18H10T is established; economic comparison of two products obtained by additive method from ABS plastic and metal plastic; the dependence of the tensile strength of a part made of plastic and metal-plastic composite on the percentage of filling.

Key words: Composites; metal plastics; metal-filled plastics; duplex 3D printing technology; additive technologies.

About authors:

RYZHKIN, Alexandr Alexeevich, Student, Dept. mechanical engineering technologies (UUST).