

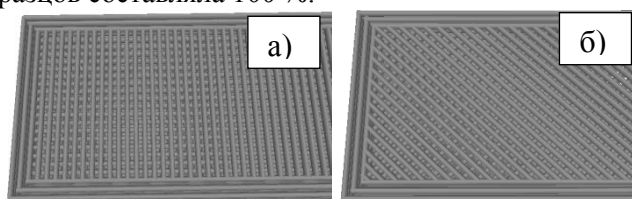
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПЛА ДЛЯ 3Д ПЕЧАТИ*Е.Т. АМИТОВ, Е.А.МИКУТСКИЙ*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: Mikuta638@gmail.com

Введение. Одной из основных проблем аддитивных технологий является разработка и изготовление новых полимерных композиционных материалов (КПМ) с заданными свойствами, пригодных для переработки методом 3Д-печати. Применение КПМ позволяет существенно расширить номенклатуру композиций, пригодных для 3Д-печати, и изготавливать мелкие серии изделий с потребительскими свойствами, отличающимися от свойств базовых полимеров [1]. При этом изготавливаемые изделия должны обладать высокой механической прочностью и сохранять целостность в процессе эксплуатации. В работе в качестве полимерной матрицы был выбран биоразлагаемый полилактид (ПЛА), который является экологически чистым возобновляемым полимером. В качестве наполнителей были применены порошки бронзы (Бр), меди (Cu), древесная мука (Дрм). Приведены результаты сравнительных механических испытаний на растяжение наполненных композиций на основе ПЛА, изготовленных методом горячего прессования и трехмерной печати.

Методика эксперимента. Определение физико-механических свойств композиционных материалов при растяжении производилось в соответствии с ГОСТ 11262-80 (ISO R527) с помощью универсальной разрывной машины Instron 3345. Образцы для испытаний изготавливались методом горячего прессования и послойного наложения (так называемый метод fused deposition modeling (FDM)). Технология FDM имеет специфическую последовательность операций при печати. Вначале создается контурный слой изделия (каркас), а затем контур заполняется при последовательном наложении слоев расплавленного филамента под определенным углом. В данной работе были использованы следующие комбинации углов наложения: $0/90^\circ$ и $45^\circ/45^\circ$, рисунок 1. Степень заполнения при изготовлении образцов составляла 100 %.

Рисунок 1 – FDM печать: а) $0/90^\circ$; б) $45^\circ/45^\circ$

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Значения предела прочности и относительного удлинения при растяжении для образцов из композиций ПЛА/Бр, изготовленных способом горячего прессования при различном содержании бронзы, приведены на рисунке 2 (а,б). Видно, что σ_p уменьшается с увеличением содержания порошка бронзы по сравнению с ненаполненным ПЛА, и достигает значения 77,4 МПа при 30 вес.%, при этом композиции становятся более жесткими. Относительное удлинение для композиций ПЛА/Бр уменьшается с увеличением содержания бронзы. Это может быть обусловлено тем, что частицы наполнителя играют роль своеобразных концентраторов локальной напряженности и препятствуют свободному движению полимерных цепей [1,2]. На рисунке 2 (в) виден существенный рост значений модуля Юнга с увеличением концентрации бронзы. В то же время композиции ПЛА/30 вес.% Cu и ПЛА/30 вес.% Бр обладают сравнимыми значениями модуля Юнга (1,88 ГПа и 1,86 ГПа). Композиция ПЛА/10 вес.% Дрм имеет достаточно высокое значение E_c (1,962 ГПа). Это может быть обусловлено тем, что частицы древесной муки играют роль своеобразных армирующих элементов конструкции за счет высокого соотношения длина/диаметр.

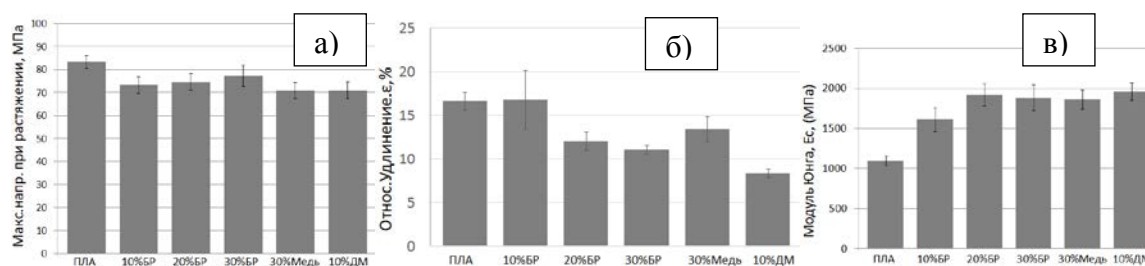


Рисунок 2 – Значения измерений при растяжении образцов, изготовленных методом горячего прессования: а) предел прочности; б) относительное удлинение; в) модуль Юнга E_c

Значения предела прочности, относительного удлинения и модуля Юнга для образцов, изготовленных методом FDM, приведены на рисунке 3 (а.б.в). Видно, что схема наложения слоев филамента $0/90^\circ$ и $45^\circ/45^\circ$ слабо влияет на σ_p , ϵ и E_c из-за наличия контурного слоя [3,4]. Однако тенденции, обнаруженные для образцов, изготовленных методом горячего прессования, сохраняются и в этом случае: при наполнении ПЛА, значения σ_p и ϵ имеют тенденцию к снижению, в то время как значения E_c увеличиваются по сравнению с ненаполненным ПЛА. Все образцы, изготовленные методом горячего прессования, обладают более высокими значениями σ_p , ϵ и E_c по сравнению с образцами, изготовленными методом FDM.

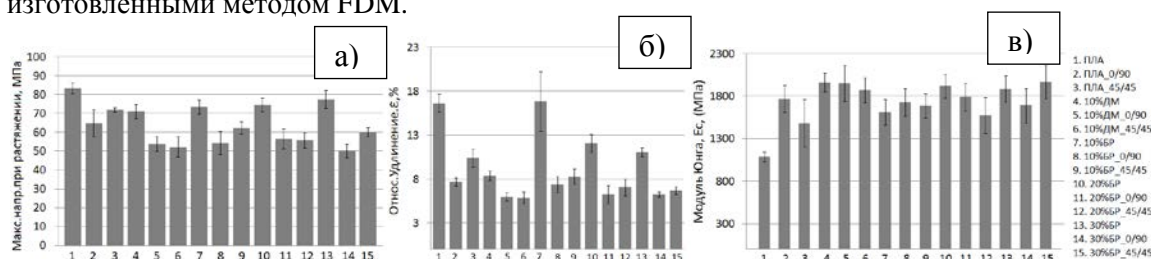


Рисунок 3 – Значения измерений при растяжении образцов, изготовленных методом FDM: а) предел прочности; б) относительное удлинение; в) модуль Юнга E_c

Вывод. Проведенные исследования показали, что все разработанные КИМ на основе ПЛА обладают достаточно высокими значениями прочности на разрыв. Для всех композиций предел прочности и относительное удлинение при растяжении уменьшаются с ростом концентрации наполнителя, а значения модуля Юнга растут по сравнению с ненаполненным ПЛА.

Угол наложения филамента при 3Д-печати ($0/90^\circ$ и $45^\circ/45^\circ$) практически не оказывает влияния на значения σ_p , ϵ и E_c за счет наличия контурного слоя.

Значения σ_p для образцов, изготовленных методом горячего прессования, увеличиваются приблизительно на 25-50 % по сравнению с образцами, изготовленными методом FDM.

Список литературы

1. Pilla S., Gong S., O'Neill E., Rowell R.M., Krzysik A.M. Polylactide-pine wood flour composites, Polym. Eng. Sci., 2008, Vol. 48, pp. 578–587.
2. Kuentz L., Salem A., Singh M., Halbig M. C., Salem, J. A. Additive manufacturing and characterization of polylactic acid (PLA) composites containing metal reinforcements, Intern. Conf. Adv. Ceramics and Compos. – 2016, 24-29 Jan.
3. Letcher T., Waytashek M. Material property testing of 3D-printed specimen in PLA on an entry-level 3D printed, In: Proc. ASME, 2014 Intern. Mech. Eng. Congress and Exposition (IMECE2014), Monreal, 2014.
4. Song Y., Li Y., Song W., Yee K., Lee K.-Y., Tagarielli V.L. Measurements of the mechanical response of unidirectional 3D-printed PLA, Mater. Design, 2017, Vol. 123, pp. 154–164.