

**МЕТОД ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
С ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

И.А. Милойчикова, М.А. Переверзева, Д.В. Журавлев

Научный руководитель: к.ф.-м.н. С.Г. Стучебров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: miloichikova@gmail.com

**METHOD OF PROPERTIES CHANGING OF POLYMERIC MATERIAL INTERACTION  
WITH IONIZING RADIATION**

I.A. Miloichikova, M.A. Pereverzeva, D.V. Zhuravlev

Scientific Supervisor: PhD S.G. Stuchebrov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: miloichikova@gmail.com

***Abstract.** This paper describes the method of the new materials with specific properties creation based on PLA-plastic alloy of copper, iron, tungsten, lead or zinc and the filaments production for additive technologies application. The maximum possible concentrations of impurities in the plastic were determined. Created set of samples with defined parameters is useful for analysis of new material interaction with ionizing radiation.*

**Введение.** Повсеместное распространение аддитивных технологий позволяет находить новое применение изделий изготовленных методом послойного наплавления [1]. Одним из перспективных направлений является медицинская сфера. В работе [2] авторами предложен способ проведения экспериментальной верификации планирования лучевой терапии, основанный на изготовлении индивидуальных фантомов, имитирующих соответствующие плотности тканей человека. Для экспериментальной реализации данного способа необходимо разработать новые материалы с заданными свойствами взаимодействия с ионизирующим излучением, пригодные для изготовления изделий методом послойного наплавления. Данная работа направлена на разработку метода создания материалов с определенной плотностью на основе ПЛА-пластика с примесями меди, железа, вольфрама, свинца или цинка и последующего изготовления из них филаментов для устройств быстрого прототипирования.

**Материалы и методы.** На первом этапе исследования был проведен расчет зависимости плотности тестовых материалов от объёмного соотношения металлического порошка к пластику:

$$\rho = \rho_{\text{ПЛА}} + n(\rho_{\text{Me}} - \rho_{\text{ПЛА}}), \quad (1)$$

где  $n = \frac{V_{\text{ПЛА}}}{V_{\text{Me}} + V_{\text{ПЛА}}}$  – соотношение объемов материалов,  $V_{\text{ПЛА}}$  – объём пластика,  $V_{\text{Me}}$  – объём

металлического порошка,  $\rho_{\text{ПЛА}}$  – плотность ПЛА-пластика,  $\rho_{\text{Me}}$  – плотность металла.

На рисунке 1 приведена зависимость плотности некоторых составных материалов от соотношения объёмов пластикового порошка и медной, железной и цинковой примесей.

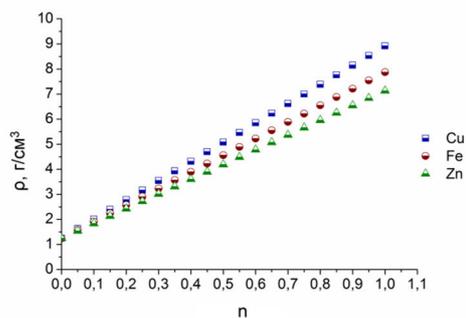


Рис. 1. Зависимость плотности тестового материала от соотношения объёмов пластика и металлов

Для создания филамента пригодного для изготовления образцов методом послойного наплавления необходимо разработать тестовый материал с заданной плотностью путем равномерного смешивания ПЛА-пластика и металлического порошка. Наиболее оптимальным методом является сплавление пластиковой и металлической масс в пластографе EC plus с последующим измельчением смеси и изготовлением из нее нити филамента с помощью экструдера BestRuder [3, 4].

**Результаты и обсуждения.** Для оптимизации процесса изготовления тестовых материалов был проведен обзор литературы по данному вопросу. Как известно, с повышением температуры вязкость расплава снижается, следовательно, увеличивается показатель текучести расплава (ПТР). В работах [5, 6] показана зависимость показателя текучести расплава термопластической массы от температуры (рисунок 2). Авторами [6] была получена зависимость изменения массы пластика, не потерпевшего термодеструкции, от температуры (рисунок 3).

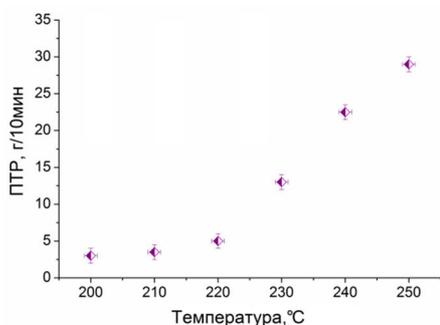


Рис. 2. Температурная зависимость показателя текучести расплава пластика

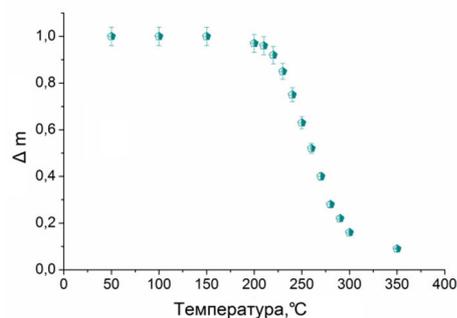


Рис. 3. Температурная зависимость массы пластика, не потерпевшего термодеструкции

Из рисунка 3 видно, что незначительно превышение температуры приводит к большому процентному разрушению пластика, термодеструкции и значительному разрушению материала, что делает его непригодным для дальнейшей работы [6].

Для получения равномерной смеси при плавке пластика, с добавлением в него металлического порошка, необходимо увеличить его текучесть и поддерживать её на заданном уровне. Из рисунка 2 видно, что повышение показателя текучести расплава пластика происходит примерно при 220°C, для экспериментально изготовления смеси оптимальная температура составляла 230°C. При данной температуре наблюдается незначительное термическое разрушение пластика ≈ 10% от общей массы. Контроль температуры в пластографе EC plus позволил получить равномерную смесь при плавке

ПЛА-пластика, с добавлением в него металлических примесей. На экспериментальном этапе создания тестовых материалов выяснилось, что некоторые из металлов, выбранные для изготовления новых материалов, являются химически несовместимыми с пластиком. Минимальное добавление вольфрамовой и свинцовой примеси приводит к разрушению сил Ван-дер-Ваальса, удерживающих макромолекулы термопласта в относительной связи друг с другом, вызывая деструкцию материала. Такой же эффект наблюдался при превышении в смеси концентрации цинка более 20% и железа более 40%. Медь оказалась наиболее оптимальной примесью для создания новых материалов с заданной плотностью. Концентрация меди в смеси составляла не менее 70%, при последующем увеличении концентрации возникала проблема удержания примеси пластиком в связи с его недостатком.

Тестовые материалы были получены в виде пластин (рисунок 4), для анализа физико-механических свойств образцов и их взаимодействия с разными видами ионизирующих излучений, а так же в виде готового сырья для дробления на гранулы. Из полученных гранул были изготовлены филаменты с помощью экструдера BestRuder.



Рис. 4. Тестовые материалы из ПЛА-пластика и а – 70%Cu, б – 40%Fe, в – 20%Zn

**Заключение.** В рамках данной работы были получены филаменты из тестовых образцов ПЛА-пластика с примесями меди, железа и цинка разной концентрации. Этот результат позволит изготавливать изделия из созданных материалов методом послойного наплавления и проводить анализ их физико-механических свойств, а так же изучение характера их взаимодействия с разными видами ионизирующих излучений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баева Л.С., Маринин А.А. Современные технологии аддитивного изготовления объектов. Вестник Мурманского государственного технического университета // 2014. – Т. 17. – № 1. – С. 7–13.
2. Данилова И.Б., Красных А.А., Милойчикова И.А., Стучебров С.Г. Моделирование взаимодействия гамма-излучения и АБС-пластика с различными металлическими примесями // Вестник национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». – 2017. – Т. 6 - № 1. – С. 78–82.
3. Plastograph EC plus [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://plastic.brabender.ru/>.
4. Мобильный экструдер BestRuder [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bestfilament.ru/mobilnyu-ekstruder-dlya-proizvodstva-3d-prutka-filamentator/>.
5. Пластмассы. Метод определения показателя текучести расплава термопластов: ГОСТ 11645–73. – Взамен ГОСТ11645–65; введ. 01.01.1977. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 12 с.
6. Abdullin M.I., Basyrov A.A., Nikolaev S.N., Koksharova Y.A., Koltaev N.V. Defining the Conditions of 3D Printing Using Abs Plastic // European reviews of chemical research. – 2014. – №. 1. – P. 4–9.