

УДК 004.356.2

**В.В. Паневчик, Н.П. Кохно, Л.М. Судиловская**  
Белорусский государственный экономический университет  
Минск, Беларусь

## **ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ РАСХОДНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ В 3-D ТЕХНОЛОГИИ**

*Аннотация.* Методом термического анализа исследовано поведение расходных полимерных материалов для 3-D принтера. Установлено, что до температуры 300°C исследуемые образцы ABS и PLA безопасны в эксплуатации.

**V.V. Panevchik, N.P. Kokhno, L.M. Sudilovskaya**  
Belarusian State University of Economics  
Minsk, Belarus

## **THERMAL ANALYSIS OF THE SAFETY OF CONSUMABLE POLYMER MATERIALS USED IN 3-D TECHNOLOGY**

*Abstract.* The behavior of consumable polymer materials for a 3-D printer was studied using the method of thermal analysis. It was established that up to a temperature of 300°C, the studied ABS and PLA samples are safe to use.

Для выработки новых подходов к созданию научно-технической основы экономики, определяющих будущее динамичное поступательное движение Беларуси по инновационному пути разработана долгосрочная стратегия «Наука и технологии: 2018–2040» Стратегия «Наука и технологии: 2018–2040» определяет: ключевые черты будущей интеллектуальной экономики и новые контуры ее производственной системы («Новой Индустрии 2040»).

Приоритетными технико-технологическими областями «Новой Индустрии 2040» являются технологии цифрового производства, в том числе аддитивные технологии (3-D технологии).

Существует множество видов 3-D технологии, которые используют для печати различные материалы. Наибольшее распространение получил метод печати: моделирование методом наплавления (англ. Fused deposition modeling, FDM) — объект формируется путём послойной укладки расплавленной нити из плавкого рабочего материала (пластик, металл, воск). Рабочий материал подаётся в экструзионную головку, которая выдавливает на охлаждаемую платформу тонкую нить расплавленного материала,

формируя таким образом текущий слой разрабатываемого объекта. Далее платформа опускается на толщину одного слоя, чтобы можно было нанести следующий слой.

Технология FDM имеет массу преимуществ, среди которых относительная простота конструкции принтеров и ценовая доступность как устройств, так и расходных материалов. Причем, ассортимент материалов является, пожалуй, самым широким среди всех доступных технологий. Как правило, для печати используются термопластики, например: полилактид (PLA, ПЛА); акрилонитрилбутадиенстирол (ABS, АБС); поливиниловый спирт (PVA, ПВА); нейлон (Nylon); поликарбонат (PC, ПК); полиэтилен высокой плотности (HDPE, ПНД) и др. [1].

Несмотря на расширение ассортимента, основным сырьем для FDM-принтера по-прежнему остаются два вида пластика: ABS и PLA.

Одним из наиболее важных факторов для применения в 3D-печати PLA служит низкая температура плавления – всего 170–180°C, что способствует относительно низкому расходу электроэнергии и использованию недорогих сопел из латуни и алюминия. Стоимость PLA относительно невелика, что добавляет популярности этому материалу.

Акрилонитрилбутадиенстирол (ABS, АБС) – пожалуй, самый популярный термопластик из используемых в 3D-печати, но не самый распространенный. Такое противоречие объясняется определенными трудностями технического характера, возникающими при печати ABS.

При работе с 3D-принтером мы неизбежно подвергаем себя риску – вдыхание вредных веществ, выделяемых при нагревании расходных материалов.

При обычной комнатной температуре пластики не являются опасными.

Конструкторская простота FDM-печати стала и ее главным недостатком. Объекты на самых лучших образцах принтеров печатаются довольно-таки неспешно, а пластик при этом то разогревается до 290–300 °C, то остывает. Поскольку физические переходы в структуре полимера под действием температуры сопровождаются тепловыми эффектами, а при прохождении химических реакций и некоторых физических процессов изменением массы образцов, это позволяет применять для исследования ряда свойств полимеров термический анализ [1].

Так как рабочая температура применения расходных полимерных материалов может достигать до 300°C существует опасность выделения химически вредных газообразных продуктов,

поэтому целесообразно провести исследование физико-химических свойств расходных полимерных материалов для 3-D технологии методом термического анализа. Каждый вид полимера имеет свою температуру плавления и разложения, что будет зафиксировано на кривой ДТА. Если будет установлено изменение массы полимера (кривые ТГ, ДТГ), то это укажет на термическое разложение полимера и выделение газообразных продуктов термораспада, что приведет к опасности вдыхаемого воздуха и остро поставит вопрос о безопасности применения 3-D технологии. На основе проведенных опытов можно сделать вывод об опасности или безопасности используемых полимерных материалов (нитей, филаментов).

Термический анализ проводили на приборе синхронного термического анализа NETZSCH STA 449 F3 Jupiter®. Прибор позволяет выполнять измерения изменения массы и тепловых эффектов.

Исследования проводили на воздухе со скоростью подъема температуры 10 град/мин до 500°C. Навеска образцов составляла 16–20 мг. Термическому анализу были подвергнуты полимерные нити: образец 1 – материал ABS (Акрилонитрилбутадиенстирол) производство России; образец 2 – материал ABS (акрилонитрилбутадиенстирол) производство Беларусь; образец 3 – материал SBS (сополимер стирола и бутадиена) производство России; образец 4 – материал PLA производство Испания (полилактид).

Анализ кривых ДТА и ДТГ показал, что до температуры 350°C образцы 1,2,3 термоустойчивы, потеря массы для них наблюдается выше температуры 350°C, что можно отнести к разрыву химических связей в полимере. Поскольку, рекомендуемый диапазон температур при печати из ABS-пластика составляет от 235 °C до 255 °C, поэтому использование до этой температуры акрилонитрилбутадиенстирола в качестве расходного полимерного материала будет безопасно. Для образца 1, термическое разложение на кривой ДТА сопровождается двумя эндотермическими эффектами основной при 415 °C и второй при 475°C, при которых потеря массы достигает максимума. У образца 2 (производство Беларусь), который является полимером аналогичным образцу 1 наблюдаем эндотермический эффект с минимумом при 423°C и экзотермический эффект с максимумом 450°C, при которых потеря массы достигает максимума. Появление экзотермического эффекта с максимумом 450°C можно объяснить процессом окислением продуктов термораспада полимера, идущим с выделением тепла – экзоэффект, который накладывается на эндоэффект 423°C и скрывает второй эндоэффект (475°C, который должны были наблюдать, как и в

случае образца 1). Образец 3 является сополимером стирола и бутадиена, последние полимеры входят в состав образца 1,2, поэтому можно предположить, что их термическое поведение будет похоже. Действительно, на кривой ДТА образца 3 наблюдается три эндотермических эффекта (415 °С, 435°С и 475°С, два из которых 415 °С и 475°С совпадают с эндоэффектами образца 1). Термический анализ образца 4 отличается от образцов 1–3. На кривой ДТА при 160°С, наблюдается не большой эндотермический эффект, который свидетельствует о плавлении полилактида. Согласно кривой ДТГ, потеря массы (т.е. термическое разложение) образца 4 начинается раньше уже при 300°С и достигает максимума при 340°С, что совпадает с данными, приведенными в исследовании [2]. При этом на кривой ДТА фиксируется экзотермический эффект с максимумом 360°С. Если сравнить образцы 1–4 по остаточной массе при одинаковой температуре разложения (499,6°С) самым термоустойчивым полимером является акрилбутадиенстирол, менее термоустойчивым будет образец 4 из полилактида (таблица 1).

**Таблица 1 – Остаток массы образца при температуре разложения 499,6°С**

№ образца	1	2	3	4
Остаток массы, %	12,5	11,94	4,78	1,03

Подведем итоги:

1. Поскольку рабочий температурный режим, при котором используют исследуемые полимерные материалы не превышает 300°С, что ниже температуры 320–350°С начала разложения акрилнитрилбутадиена и полилактида, установленной в ходе нашего исследования, можем быть уверенными в безопасности применения в 3–D технологии исследованных полимеров.

2. Используйте систему вентиляции. В частности, исследователи советуют работать в хорошо проветриваемых помещениях: идеально было бы использовать систему вентиляции, которая способна трижды в час менять весь объем воздуха в комнате. Если нет вентиляции, открывайте окна и постарайтесь как можно меньше присутствовать в одном помещении с печатающим принтером.

3. Обращайте внимание на запахи. Сильный запах свидетельствует о повышении концентрации активного вещества. Примите дополнительные меры предосторожности или вовсе выйдите из комнаты.

4. Приобретайте расходные материалы у проверенных производителей. Качественный расходный материал имеет сертификаты или декларации соответствия.

#### Список использованных источников

1. Белов, Д.А. Термомеханические свойства полилактидов / Д.А. Белов, Л.П. Круль, А.П. Поликарпов, И.А. Климовцова // Вестник Белорусского государственного университета. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2007. – № 3. – С. 40–46.

2. Паневчик, В. В. Стандартизация аддитивных технологий / В. В. Паневчик, С. В. Некраха, В. И. Хиневич // Менеджмент и маркетинг: опыт и проблемы : сб. науч. тр. ; под ред. И. Л. Акулича. — Минск: Издатель Вараксин, 2019. — С. 195—198.

УДК 544-16; 539.2:54

**В.В. Паньков<sup>1</sup>, Р.Х. Рахимов<sup>2</sup>, В.П. Ермаков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет  
Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Институт материаловедения Академии наук Республики Узбекистан  
Ташкент, Узбекистан

#### МЕТОД СИНТЕЗА КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ УСТРОЙСТВ ИМПУЛЬСНОГО ИК ИЗЛУЧЕНИЯ

*Аннотация.* С целью применения в генерации импульсного инфракрасного излучения разработан метод получения керамических нанокompозитов, включающий термо-механохимическую обработку и использование карбонатов в качестве исходных компонентов.

**V.V. Pankov<sup>1</sup>, R.Kh. Rakhimov<sup>2</sup>, V.P. Ermakov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

<sup>1</sup>Institute of Materials Science of the Academy of Sciences  
of the Republic of Uzbekistan  
Tashkent, Uzbekistan

#### SYNTHESIS METHOD OF CERAMIC MATERIAL FOR PULSE IR RADIATION DEVICES