

## ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТЬ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

А. И. Козлов

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель С. Н. Бобрышева

В последние годы в различных отраслях промышленности все большее применение находят термопластичные материалы (термопласты). Они представляют собой полимеры, способные обратимо переходить при нагревании в высокоэластическое либо вязкотекучее состояние.

Термопласты используются в виде волокон, для изготовления литевых и экструзионных деталей, в качестве защитно-декоративных покрытий металлов и изделий из них, в составе листовых полимерных композиционных материалов. Большой интерес представляют термопластичные материалы и для технологии FDM-печати (от англ. «*fused deposition modeling*» – моделирование методом наплавления). Последняя с успехом используется для создания дизайнерских прототипов, мастер-моделей для металлического литья и единичных функциональных изделий.

Расширение областей применения данных полимеров обусловлено их высокими прочностными и деформационными характеристиками, низкой плотностью, ударостойкостью, устойчивостью к различным видам химических воздействий, диэлектрическими свойствами, технологичностью, т. е. возможностью вторичного использования благодаря переработке экологически чистыми способами.

Однако в связи с активным внедрением термопластичных материалов в различные сферы деятельности человека к ним стали предъявляться повышенные требования по уровню пожаробезопасности. Изучению свойств пожаробезопасных термопластичных материалов, таких как время остаточного горения, категория горючести, дымообразование и интервал рабочих температур, посвящено немало современных исследований.

Целью нашей работы было ознакомление с результатами подобных актуальных исследований в области FDM аддитивной технологии. Рассматриваемыми материалами послужили: 1) полилактид PLA; 2) ABS-пластик; 3) полиамид Nylon-618.

Объектом исследований явились их реологические, физические и теплофизические свойства, а результатом – сформулированные требования, предъявляемые к материалам для FDM аддитивной технологии печати по уровню технологических и эксплуатационных свойств.

Требования к материалам, предназначенным для использования в FDM аддитивной технологии 3D-печати:

• Технологические свойства:

1) термостабильность;

2) содержание минимального количества влаги и летучих газов;

3) температура переработки должна быть ниже температуры начала деструкции;

4) вязкость расплава при температурах от 190 до 260 °С – в диапазоне 80–2000 Па · с;

5) способность образования нити при экструдировании полимера.

• Эксплуатационные свойства:

1) точность изготовления и отсутствие деформирования;

2) минимальная усадка;

- 3) высокая прочность, ударная вязкость и эластичность;
- 4) стойкость к воздействию влаги;
- 5) пожаробезопасность (для ответственных и специальных деталей);
- 6) долговечность;
- 7) стойкость к воздействию прямого солнечного света;
- 8) способность к окрашиванию;
- 9) отсутствие токсических веществ при переработке;
- 10) экологичность и низкая стоимость (для ответственных и специальных деталей могут быть исключения).

Анализ свойств термопластичных материалов показывает, что для использования в FDM аддитивной технологии 3D-печати пригодны практически все термопласты, выпускаемые отечественной промышленностью. Однако в связи с возросшими требованиями к материалам, применяемым как в авиакосмической, так и других отраслях народного хозяйства, необходима модификация рецептур серийно выпускаемых термопластичных полимеров с целью повышения их пожаробезопасных характеристик.

Поэтому были проведены соответствующие работы с целью придания отечественным термопластичным материалам функциональных свойств (пожаробезопасности и технологичности), обеспечивающих расширение области их применения при использовании в 3D-печати. Структуры термопластов были модифицированы добавками с полимерной матрицей, а в частности поликарбонатом (ПК-12) и полиамидом (АП-12).

В результате экспериментальных работ были установлены следующие плюсы полученных материалов по сравнению со стандартными полимерами (ABS-пластик, PLA-пластик и др.), используемыми в технологии FDM-печати:

1) композиция на основе ПК (поликарбоната) имеет высокие прочностные и деформационные характеристики, технологична и имеет достаточно высокое значение теплостойкости (123 °С);

2) значение прочности при растяжении для образцов, изготовленных из разработанных композиций методом послойного синтеза по FDM аддитивной технологии на 3D-принтере, сохраняется на уровне 59 % по сравнению со значением характеристики для образцов, изготовленных традиционным методом литья под давлением; значение модуля упругости при растяжении сохраняется на уровне 67 %, что соответствует значениям для зарубежных аналогов;

3) значения вязкости при температурах 240, 260 и 280 °С у композиции на основе модифицированного ПК выше, чем у ABS-пластика и полиамида Nylon-618;

4) разработанная композиция обладает наиболее высоким уровнем свойств при температурах 260 и 280 °С, что подтверждает правильность выбора оптимальных температур для печати изделий на 3D-принтере;

5) из двух исследуемых термопластов (ПК и ABS-пластика) наибольшая усадка у ABS-пластика, который плохо сохраняет заданную геометрическую форму, что негативно сказывается на результате печати изделия.

На основании приведенных данных можем заключить, что применяемые на сегодняшний день стандартные полимеры не могут справиться с большими температурными нагрузками, но по-прежнему имеют большой спектр применений благодаря своим хорошим эксплуатационным свойствам. Однако новой альтернативой данным материалам выступают полимеры, модифицированные добавками, такими как поликарбонат и полиамид. Последние оказываются способными существенно расширить применение стандартных полимеров, например в области авиаконструирования,

а также для печати на FDM-принтерах. Подобная возможность обусловлена приобретенными характеристиками модифицированных полимеров: повышенная прочность, критическая точка нагрева и пожаробезопасность.

Л и т е р а т у р а

1. Режим доступа: <https://www.helvetica.perm.ru/articles/view/12>.
2. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/pozharnaya-bezopasnost-stroitelnyh-polimernyh-konstruktsiy>.
3. Режим доступа: [http://www.polikonta.com/index.php?mod=look\\_items\\_more&id\\_item=175&id\\_cat\\_prec=36&cat\\_part=1](http://www.polikonta.com/index.php?mod=look_items_more&id_item=175&id_cat_prec=36&cat_part=1).
4. Оценка пожаробезопасности полимерных материалов авиационного назначения: анализ состояния, методы испытаний, перспективы развития, методологические особенности : учеб. пособие / С. Л. Барботько [и др.]. – 2019.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ОБРЫВА ПРОВОЛОКИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ

**В. А. Петрусевич**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научные руководители: С. И. Прач, Ю. Л. Бобарикин

Волочение проволоки – это процесс обработки металла давлением, при котором последний постепенно однократно или многократно протягивается через специальный волочильный инструмент, предназначенный для поэтапного уменьшения поперечного сечения исходной заготовки.

Наиболее важной проблемой при волочении проволоки является ее обрывность. В данной работе исследованы некоторые основные причины обрыва проволоки; проанализирована причина обрыва на примере действующего маршрута волочения.

К основным причинам обрыва проволоки можно отнести:

1. Наличие поверхностных дефектов, наследованных с катанки [1].

В результате исследования было выявлено, что обрывность на участках грубосреднего волочения, латунирования, бронзирования сталепроволочных цехов происходит по причине наличия в катанке механических повреждений (задиры, истирания) разной глубины и протяженности, образующихся при увязке и транспортировке бунтов из прокатного в сталепроволочные цеха. В зоне увязки в основном образуются неглубокие незначительные истирания 5–15 мм, но случаются и глубокие, особенно на малоуглеродистых марках стали. Дефекты транспортировки имеются на 10–20 % бунтов, в основном это неглубокие повреждения протяженностью 30–70 см одновременно на нескольких витках. Наличие этих дефектов при дальнейшем грубосреднем волочении проволоки приводит к обрыву проволоки не по каждому дефекту, а лишь по некоторым.

На грубосреднем волочении, бронзировании и латунировании 2–3 % обрывов составляют обрывы по причине вкатанных инородных и стальных частиц, наследованных с катанки, образовавшихся в процессе проката. Поверхностные дефекты катанки прокатного происхождения (вкатанные твердосплавные и стальные частицы) образуются из-за внедрения в поверхность прокатываемой заготовки инородных частиц в случаях разрушения прокатных валков, элементов проводковой и кантующей арматуры. По внешнему виду на волоченной проволоке указанные дефекты похожи на дефекты по причине механических повреждений с катанки, также представ-