

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ АДДИТИВНОГО СИНТЕЗА

В настоящее время большое количество изделий из полимерных материалов, изготовленных, в том числе, с использованием аддитивных технологий, эксплуатируют при повышенных температурах.

Производители материалов для аддитивных технологий, как правило, не приводят сведений о механических характеристиках при повышенных температурах. В то же время такие данные необходимы для проектирования изделий, так как характеристики полимерных материалов и композиций на их основе существенно зависят от температуры. В литературе отсутствуют исследования зависимостей эксплуатационных характеристик материалов аддитивного синтеза от температуры. Однако такие исследования проведены для полимеров, которые используются в традиционных технологиях переработки. Показано, что при температуре эксплуатации 60–80 °С такие известные термопластичные полимеры, как полипропилен, полиэтилен теряют от 25 до 50% своей прочности и жесткости при комнатной температуре [1, 2]. Чем ниже механические свойства полимера, тем более чувствительны они к изменениям температуры. Это обстоятельство является весьма важным, так как свойства материалов в изделиях, получаемых с использованием аддитивного синтеза, как правило ниже, чем у изделий, получаемых с использованием традиционных технологий [3].

Цель работы – исследование влияния температуры эксплуатации на механические характеристики материалов, используемых для получения изделий методом аддитивного синтеза (экструзия материала).

Для исследований использовали такие распространенные термопластичные полимеры, как акрилонитрилбутадиенстирол ABS-пластик (производитель Alphafilament), полилактид PLA (производитель REC), полиэтилентерефталатгликоль PETG (производитель SynTech), полипропилен PP (производитель Ultimaker).

Для изготовления образцов использовали технологию аддитивного синтеза, известную как экструзия материала. Образцы получали с использованием 3D принтеров Ultimaker 2+ (для PLA, PETG, PP) и Anycubic 4MAX Pro (для ABS). Режимы изготовления образцов (таблица 1) принимали из диапазонов, рекомендуемых производителем.

Предел прочности (σ) и модуль упругости (E) при растяжении и

изгибе определяли по ГОСТ 11262-2017 и ГОСТ 4648-2014.

Испытания проводили на универсальной разрывной машине Alfa Technologies Tensometer 2020, оборудованной термокамерой при температурах 25, 40 и 60°C для образцов из полимеров ABS, PETG и PP и 25, 40 и 55°C для образцов из полимера PLA.

Таблица 1 – Режимы изготовления образцов

Параметры	Материал			
	ABS	PETG	PLA	PP
Диаметр филамента, мм	1,75	2,85	2,85	2,85
Высота слоя, мм	0,20	0,20	0,20	0,25
Ширина линии, мм	0,27	0,27	0,27	0,27
Направление печати (по отношению к оси образца), °	0	0	0	45
Плотность заполнения, %	100	100	100	100
Скорость печати, мм/с	50	80	80	80
Температура стола, °C	95	75	60	80
Температура экструдера, °C	225	255	210	220

Значения прочности и модуля упругости (Юнга) при растяжении (σ_p , E_p) и изгибе ($\sigma_{и}$, $E_{и}$) соответственно, приведены в таблицах 2 и 3.

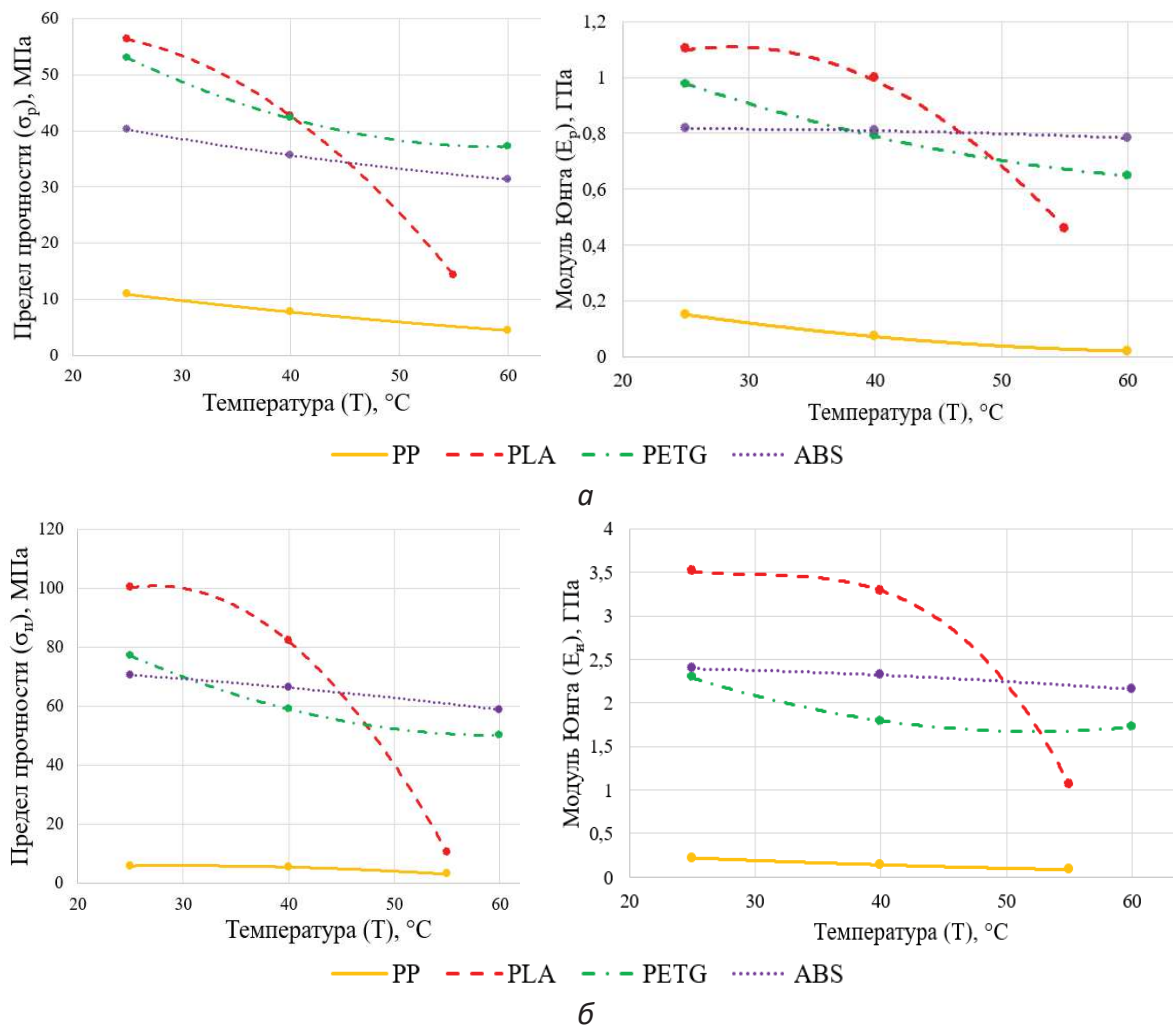
Таблица 2 – Значения модуля Юнга и предела прочности при растяжении

Материал	25°C		40°C		60°C (55°C)	
	σ_p , МПа	E_p , ГПа	σ_p , МПа	E_p , ГПа	σ_p , МПа	E_p , ГПа
ABS	40,20	0,82	35,68	0,81	31,38	0,78
PETG	53,05	0,98	42,33	0,79	37,21	0,65
PLA	56,33	1,10	42,72	0,99	14,35	0,46
PP	10,87	0,15	7,72	0,07	4,43	0,02

Таблица 3 – Значения модуля Юнга и предела прочности при изгибе

Материал	25°C		40°C		60°C (55°C)	
	$\sigma_{и}$, МПа	$E_{и}$, ГПа	$\sigma_{и}$, МПа	$E_{и}$, ГПа	$\sigma_{и}$, МПа	$E_{и}$, ГПа
ABS	70,51	2,39	66,24	2,32	58,75	2,16
PETG	76,90	2,29	58,89	1,79	50,03	1,72
PLA	100,18	3,51	82,26	3,29	10,31	1,06
PP	5,81	0,22	5,40	0,14	3,00	0,09

По полученным данным строили зависимости предела прочности и модуля упругости от температуры (рисунок). Из рисунка следуют типичные для термопластичных полимеров зависимости механических характеристик от температуры – с увеличением температуры модуль упругости и прочность как при растяжении, так и изгибе уменьшаются. Анализ данных показал, что для ABS предел прочности и модуль Юнга в исследуемом диапазоне температур при растяжении изменились на 21,9% и 4,9% и при изгибе 16,7% и 9,6% соответственно.



**Рисунок – Зависимости прочности и модуля упругости от температуры:
а – при растяжении; б – при изгибе**

Для PP отмечено значительное снижение механических характеристик, изменение при растяжении 86,7% модуля упругости и 59,2% предела прочности, при изгибе – 59,1% и 48,4% соответственно. Для PLA установлено, что повышение температуры эксплуатации существенно ухудшает упругие характеристики (58,2% при растяжении и 69,8% при изгибе) и понижает прочностные характеристики (74,5% при растяжении и 69,8% при изгибе), значительно заметно падение свойств выше 40°C.

Для PETG характерно постепенное ухудшение механических свойств без резких скачков, изменение модулей упругости при растяжении и изгибе составило 33,7% и 24,9% соответственно, для предела прочности – 29,9% и 34,9%. Полученные данные можно использовать при проектировании изделий, изготавливаемых с использованием аддитивных технологий и эксплуатирующихся при повышенных температурах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крыжановский, В.К. Технические свойства полимерных материалов / В.К. Крыжановский, В.В. Бурлов, А.Д. Паняматченко, Ю.В. Крыжановская. – СПб. Из-во «Профессия». 2003. – 240 с.
2. Технология полимерных материалов / Под ред. Крыжановского В.К. – СПб.: Профессия, 2011. – 533 с.
3. Mwema F.M., Akinlabi E.T. Fused Deposition Modeling: Strategies for Quality Enhancement, SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology Publ., 2020. – 78 p.

УДК 667.621.633

Е.И. Яблонская, науч. сотр.,
Н.Р. Прокопчук, д-р хим. наук, член-корр. НАН Беларуси, проф.
(БГТУ, г. Минск)

ОРГАНОРАСТВОРИМЫЕ АЛКИДНО-СТИРОЛЬНЫЕ СМОЛЫ НА ОСНОВЕ ДЕГИДРАТИРОВАННОГО КАСТОРОВОГО МАСЛА

Алкидно-стирольная смола (АСС) – это продукт сополимеризации алкидной смолы со стиролом. Отличительной особенностью таких материалов является их быстрое высыхание. В зависимости от содержания стирола в сополимере время отверждения составов в естественных условиях колеблется от 4 ч до 12 ч. Используя лакокрасочные материалы естественного отверждения, способные быстро формировать покрытия, можно достичь снижения энергоемкости процессов получения лакокрасочных покрытий. Поэтому АСС можно отнести к энергосберегающим лакокрасочным материалам. Также введение в состав алкидного пленкообразователя 10–40% стирола позволяет повысить твердость покрытий и улучшить водо- и щелочестойкость.

Для модифицирования алкидного олигомера выбирают масла или жирные кислоты, в составе которых присутствует высокое содержание 9,11-октадекадиеновой и 9,12-октадекадиеновой (линолевой) кислот. В данной работе выбрано дегидратированное касторовое масло (ДКМ). Его получают из касторового масла, в состав которого преимущественно входят триглицериды 12-гидрокси-9(Z)-октадеценной кислоты (рицинолевой кислоты). В результате дегидратации рицинолевой кислоты образуются изомеры диеновых кислот с сопряженными (9,11-октадекадиеновая кислота) и изолированными (9,12-октадекадиеновая кислота) двойными связями, имеющими высокую реакционную способность к сополимеризации с полимеризационно-