

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ПЕЧАТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛО- И УГЛЕНАПОЛНЕННЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Одной из самых распространенных технологий 3Д-печати является технология экструзии материала [1–2]. Для печати могут использоваться различные термопластичные полимеры, но для изготовления нагруженных элементов весьма перспективными являются стекло- и угленаполненные материалы. Применение таких материалов позволяет существенно повысить показатели прочности и жесткости изделий. Весьма перспективным является применение таких материалов для изготовления корпусных деталей беспилотной техники.

Механические показатели материала получаемых 3Д печатью изделий существенно зависят от параметров печати (скорости печати, температуры печати и т.п.). Производители материалов для 3Д-печати указывают, как правило, довольно широкий интервал рекомендуемых параметров печати, что не позволяет получить оптимальные механические характеристики. Поэтому установление влияния параметров печати на механические характеристики является актуальной задачей.

Исследовали композиционные материалы, используемые для 3Д-печати по технологии экструзии материала: *NYLFORCE GLASS*, диаметр 2,85 мм (стеклонаполненный полиамид), производитель *Fiber Force*, Италия; *NYLFORCE CARBON*, диаметр 2,85 мм (угленаполненный полиамид), производитель *Fiber Force*, Италия; *Ultrafuse PET CF 15*, диаметр 1,75 мм (угленаполненный полиэтилентерефталат), производитель *BASF*, Германия.

Образцы для испытаний изготавливали на 3Д принтерах *Ultimaker 3+* (*NYLFORCE GLASS*, *NYLFORCE CARBON*) и *Anycubic* (*Ultrafuse PET CF 15*). При печати образцов варьировали режимы (температуру печатающей головки, скорость печати). Режимы печати образцов принимали из диапазона режимов, рекомендуемого производителем.

Определяли модуль упругости E_p , разрушающее напряжение σ_p при растяжении, модуль упругости $E_{и}$, разрушающее напряжение $\sigma_{и}$ при изгибе. Модуль упругости E_p , разрушающее напряжение σ_p при растяжении определяли на испытательной машине *MTS Criterion* по ГОСТ 34370 – 2017, используя образцы типа 2 (в форме лопаток). При определении модуля упругости использовали одноосевой экстензометр *MTS*. Модуль упругости $E_{и}$, разрушающее напряжение $\sigma_{и}$ при

изгибе определяли по трехточечной схеме по ГОСТ 4648–2014.

Зависимости модуля упругости и предела прочности при растяжении исследуемых материалов аддитивного синтеза от параметров печати показаны на рисунке 1.

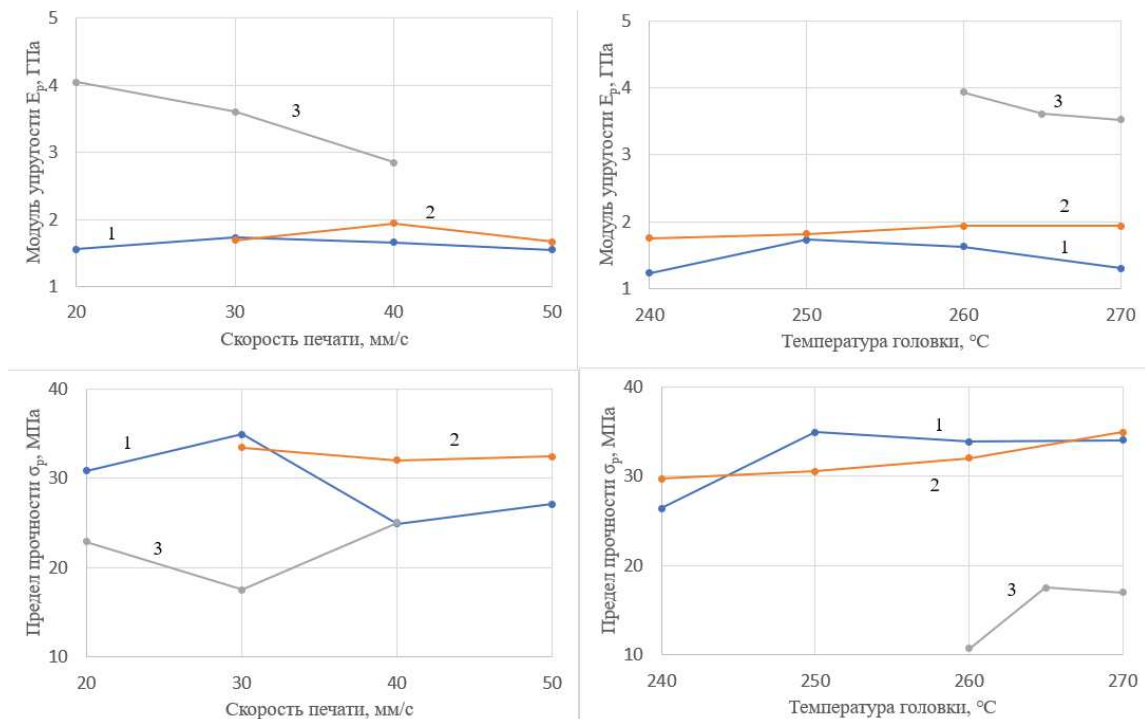


Рисунок 1 – Зависимости модуля упругости и предела прочности при растяжении от параметров печати: 1 – NYLFORCE GLASS; 2 – NYLFORCE CARBON; 3 – Ultrafuse PET CF 15

Модуль упругости при растяжении для материалов в исследуемом диапазоне изменяется в зависимости от параметров печати (скорости и температуры головки). Для материала *NYLFORCE GLASS* изменение модуля упругости при растяжении от скорости печати в пределах 12%, от температуры печати в пределах 40%. Максимальное значение модуля упругости при растяжении для данного материала наблюдали при скорости 30 мм/с и температуре печати 250°C.

Для материала *NYLFORCE CARBON* изменение модуля упругости при растяжении от скорости печати в пределах 16%, от температуры печати в пределах 10%. Максимальное значение модуля упругости при растяжении для данного материала наблюдали при скорости 40 мм/с и температуре печати 260°C.

Для материала *Ultrafuse PET CF 15* изменение модуля упругости при растяжении от скорости печати в пределах 42%, от температуры печати в пределах 12%. Максимальное значение модуля упругости при растяжении для данного материала наблюдали при скорости

20 мм/с и температуре печати 260°C.

Максимальные значения предела прочности при растяжении для материала *NYLFORCE GLASS*, как и для модуля упругости, наблюдали при скорости 30 мм/с и температуре печати 250°C.

Предел прочности при растяжении для материала *NYLFORCE CARBON* практически не зависит от скорости печати и увеличивается с увеличением температуры головки. Максимальное значение предела прочности при растяжении для материала *NYLFORCE CARBON* соответствует температуре печати 270°C.

Максимальные значения предела прочности при растяжении для материала *Ultrafuse PET CF 15* наблюдали при скорости 40 мм/с и температуре печати 265°C.

Зависимости модуля упругости и предела прочности при изгибе исследуемых материалов аддитивного синтеза от параметров печати показаны на рисунке 2.

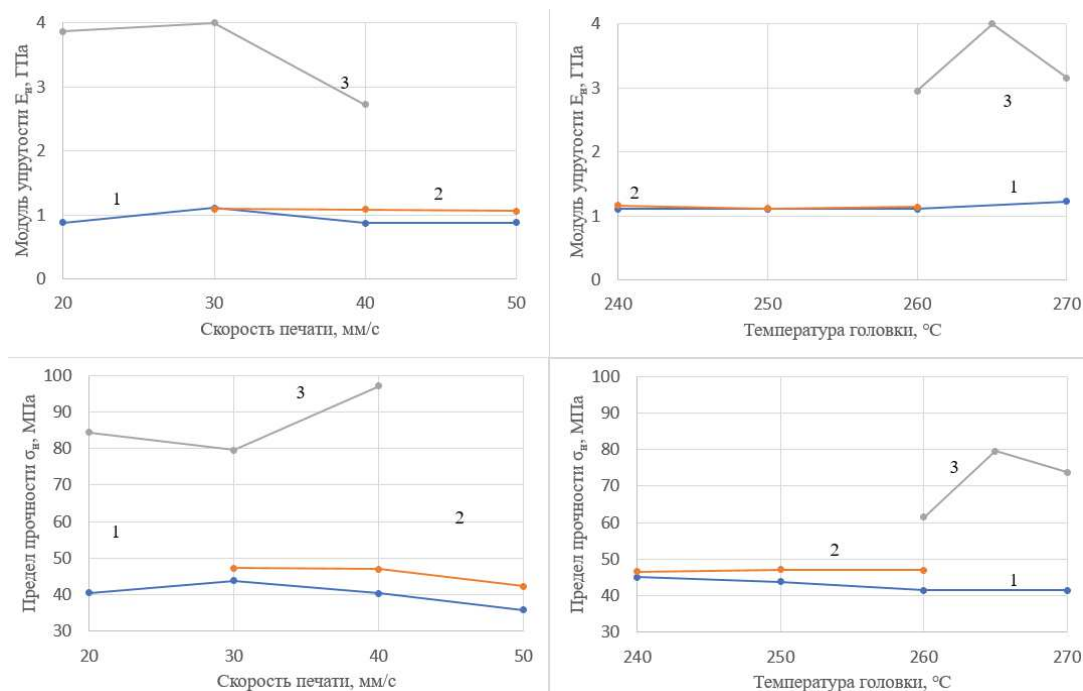


Рисунок 2 – Зависимости модуля упругости и предела прочности при изгибе от параметров печати: 1 – *NYLFORCE GLASS*; 2 – *NYLFORCE CARBON*; 3 – *Ultrafuse PET CF 15*

Для материала *NYLFORCE GLASS* изменение модуля упругости при изгибе от скорости печати в пределах 35%, от температуры печати в пределах 11%. Максимальное значение модуля упругости при растяжении для данного материала наблюдали при скорости 30 мм/с и температуре печати 250°C, как и для растяжения. Для материала *NYLFORCE CARBON* модуль упругости при изгибе от скорости печати и от

температуры печати практически не зависит.

Для материала *Ultrafuse PET CF 15* изменение модуля упругости при изгибе от скорости печати в пределах 47%, от температуры печати в пределах 36%. Максимальное значение модуля упругости при растяжении для данного материала наблюдали при скорости 30 мм/с и температуре печати 260°C.

Характеристики прочности и модуля упругости при растяжении материалов аддитивного синтеза *NYLFORCE GLASS* и *Ultrafuse PET CF 15* при различных направлениях печати (по отношению к оси образца) представлены в таблице.

Таблица – Характеристики материалов аддитивного синтеза при различных направлениях печати

Характеристика	Направление печати, °		
	0	±45	90
<i>NYLFORCE GLASS (температура головки 250 °C, скорость печати 40 мм/с)</i>			
Модуль упругости при растяжении E_p , ГПа	2,48	1,66	–
Предел прочности при растяжении σ_p , МПа	39,8	24,9	–
Модуль упругости при изгибе $E_{и}$, ГПа	1,39	0,87	–
Предел прочности при изгибе $\sigma_{и}$, МПа	43,4	40,3	–
<i>Ultrafuse PET CF 15 (температура головки 260 °C, скорость печати 30 мм/с)</i>			
Модуль упругости при растяжении E_p , ГПа	6,98	3,61	3,61
Предел прочности при растяжении σ_p , МПа	51,05	17,5	37,1
Модуль упругости при изгибе $E_{и}$, ГПа	5,14	4,00	3,28
Предел прочности при изгибе $\sigma_{и}$, МПа	46,6	79,5	70,3

Из таблицы видно, что механические характеристик существенно зависят от направления печати. Максимальные значения прочности и модуля упругости для материалов соответствует углу 0° по направлению к оси образца, а минимальные – углу 90° по направлению к оси образца. Однако действующие на изделия нагрузки не всегда совпадают с его продольной осью. Поэтому для изделий, испытывающих действие нагрузки в различных направлениях целесообразно производить печать под углом ±45°.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гибсон Я., Розен Д., Стакер Б. Технологии аддитивного производства. – М: ТЕХНОСФЕРА, 2016. – 656 с.
2. Зленко М. А., Нагайцев М. В., Довбыш В. М. Аддитивные технологии в машиностроении. – М: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.