

Кроме того, в зависимости от метода армирования, композиты не только становятся прочнее, но и получают новые полезные свойства: повышенная термоустойчивость, электрическая проводимость, хорошая износостойкость. Но существует и ряд недостатков, к которым можно отнести то, что при дискретном армировании снижается качество поверхности напечатанной модели, а при непрерывном армировании в мелких областях модели невозможно уложить нить, что приводит к неравномерности распределения нагрузки.

Композитные материалы для технологии производства наплавлением нитевидного материала (технологии моделирования методом послойного наплавления) представляют собой технологичные и перспективные материалы, которые постепенно заменяют классические материалы.

Список использованных источников

1. Fused Deposition Modelling of Fibre Reinforced Polymer Composites: A Parametric Review (Моделирование методом направленного осаждения полимерных композитов, армированных волокном: параметрический обзор) / MDPI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2504-477X/5/1/29> Дата доступа: 01.04.2023.
2. Reinforced Composite Materials Used in 3D Printing (Армированные композитные материалы, применяемые в 3D-печати) / Raise3D [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.raise3d.com/academy/reinforced-composite-materials-used-in-3d-printing/>. – Дата доступа: 01.04.2023.

УДК 678.7:535-31

ПЕРЕКРЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НАПОЛНИТЕЛЯ И ТОЛЩИНЫ СЛОЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ

Ходер В.Б., асс., Кордикова Е.И., к.т.н., доц.

*Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

Реферат. В работе рассмотрены вопросы проведения двухфакторного экспериментального исследования прочностных и упругих характеристик композиционного фотополимерного материала с добавлением отходов технологического процесса для оценки возможности применения их в лазерной стереолитографии. Приведены результаты исследований влияния содержания наполнителя и высоты слоя печати на механические характеристики отвержденного композиционного материала. В результате проведения исследования установлено, что введение измельченного наполнителя из фотополимерных отходов снижает влияние технологических параметров печати на механические характеристики полученного композиционного материала.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, фотополимеризация в ванне, SLA, композиционный материал, наполнитель, предел прочности.

Современные технологии аддитивного производства фотополимеризацией в ванне включают в себя методы лазерной стереолитографии (SLA), проекционной масочной стереолитографии (DLP), непрерывной жидкостной интерфазной печати (CLIP) и отверждение при дневном свете (DPP) [1]. Все процессы имеют один общий принцип работы – изделие изготавливается путем селективного отверждения слоев светочувствительной полимерной смолы с применением различных источников света [2].

Аддитивные технологии фотополимеризации в ванне нашли активный отклик в производстве различного направления и занимают высокотехнологичную нишу в современном промышленном секторе. Основной задачей поиска высокотехнологичных решений для аддитивного производства является разработка и модификация полимерных материалов, в частности полимерных композиционных систем. Механическое поведение композиции и её свойства определяются соотношением компонентов и отдельными характеристиками матрицы и армирующих элементов, а также типу и прочностью связи между ними [3,4].

В подавляющем большинстве исследований композиционных систем на макроуровне,

позволяющих определять прочностные характеристики конечной композиции, применяются как правило отдельно взятые факторы влияния. В таком случае с наибольшей вероятностью используется метод планирования эксперимента, в котором направление дальнейших исследований определяется полученными опорными результатами [5]. Однако полное представление о механических характеристиках можно получить только при следовании пересекающемуся плану экспериментов. Такие исследования позволяют изучить влияние каждого фактора на переменные свойства, а также уровень взаимодействия между ними.

Целью работы является изучение роли нескольких технологических и структурных параметров и их взаимодействие на конечные механические характеристики композиционной системы, для дальнейшего применения в производстве методом лазерной стереолитографии.

Так как для большинства композиционных материалов с хаотическим наполнением количество комбинаций влияющих факторов в полном пересекающемся плане эксперимента слишком велико и практически не ограничено, то оптимальным считали применение экспериментальной сетки из двух параметров: технологического и структурного.

В качестве исследуемого структурного параметра изменяли содержание наполнителя (10 и 20 мас. %) в композиционной системе на основе фотополимерной смолы Formlabs Clear и измельченных частиц отвержденной смолы Formlabs различных марок (Clear, Gray, White) с фракцией 40-50 мкм.

Исследуемым технологическим параметром для эксперимента являлась высота слоя печати на стереолитографическом принтере Form 2. Производство образцов проводилось в экспериментальном режиме машины с доступом к высотам слоя 50, 100, 140, 160 и 300 мкм.

В качестве функций отклика в эксперименте применяли механические испытания на растяжение с определением предела прочности и модуля упругости в соответствии со стандартом ASTM D638-10.

По завершению процесса аддитивного синтеза производили постобработку образцов в соответствии с рекомендациями производителя для ненаполненной фотополимерной системы (рис. 1). Первично отвержденная зеленая модель промывается от остатков жидкой смолы в изопропиловом спирте в течении 30 минут в машине Form Wash. После промывки модели проводили дополнительную засветку фотополимерной смолы, для завершения процесса полимеризации и стабилизации механических свойств. Процесс дополнительной засветки производился в камере доотверждения Form Cure продолжительностью 60 минут при температуре 60 C°.

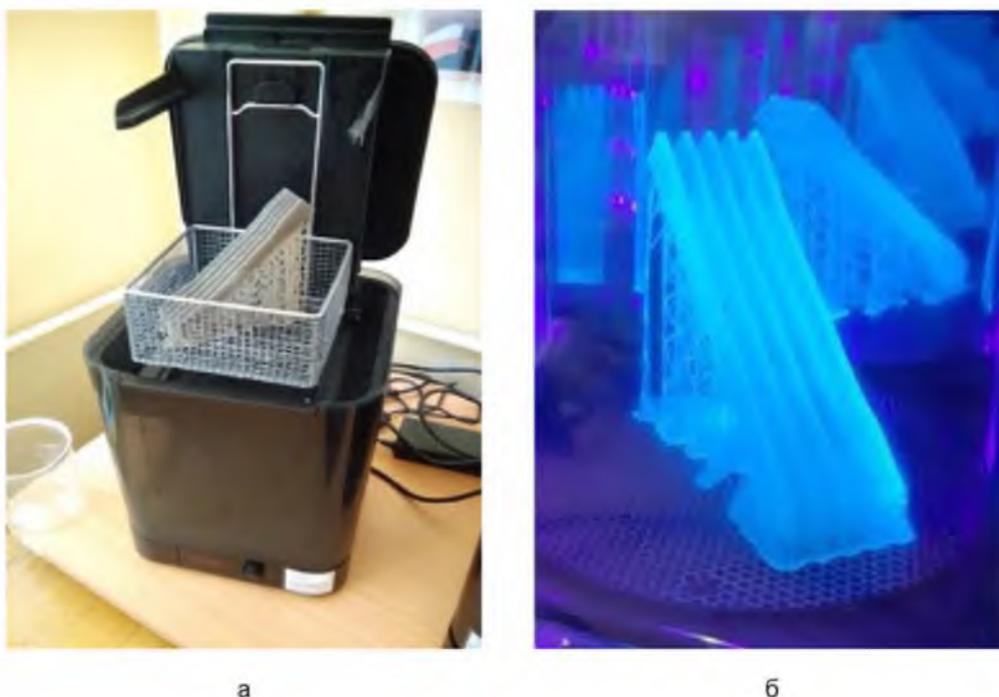


Рисунок 1 – Постобработка образцов после печати: а – промывка в Form Wash; б – доотверждение в Form Cure

Окончательно отвержденные образцы подвергались механической обработке и удалению поддерживающих структур.

Визуальное и микроскопическое исследование поверхности образцов и их структуры в сечении указывает на равномерность распределения наполнителя в матрице, а также на повышение шероховатости образцов за счет выступающих на поверхности частиц. Вместе с тем в образцах из наполненной композиции во всех случаях с высотой слоя выше 100 мкм отмечается отсутствие слоистости и «эффекта лестницы» на поверхности.

В результате исследования отмечалось, что образцы из наполненной композиции при печати с высотой слоя менее 50 мкм характеризовались значительной дефектностью и снижением механических характеристик. Результаты экспериментальных исследований механических характеристик образцов для двух взаимно действующих факторов представлены в виде поверхностей на рисунке 2.

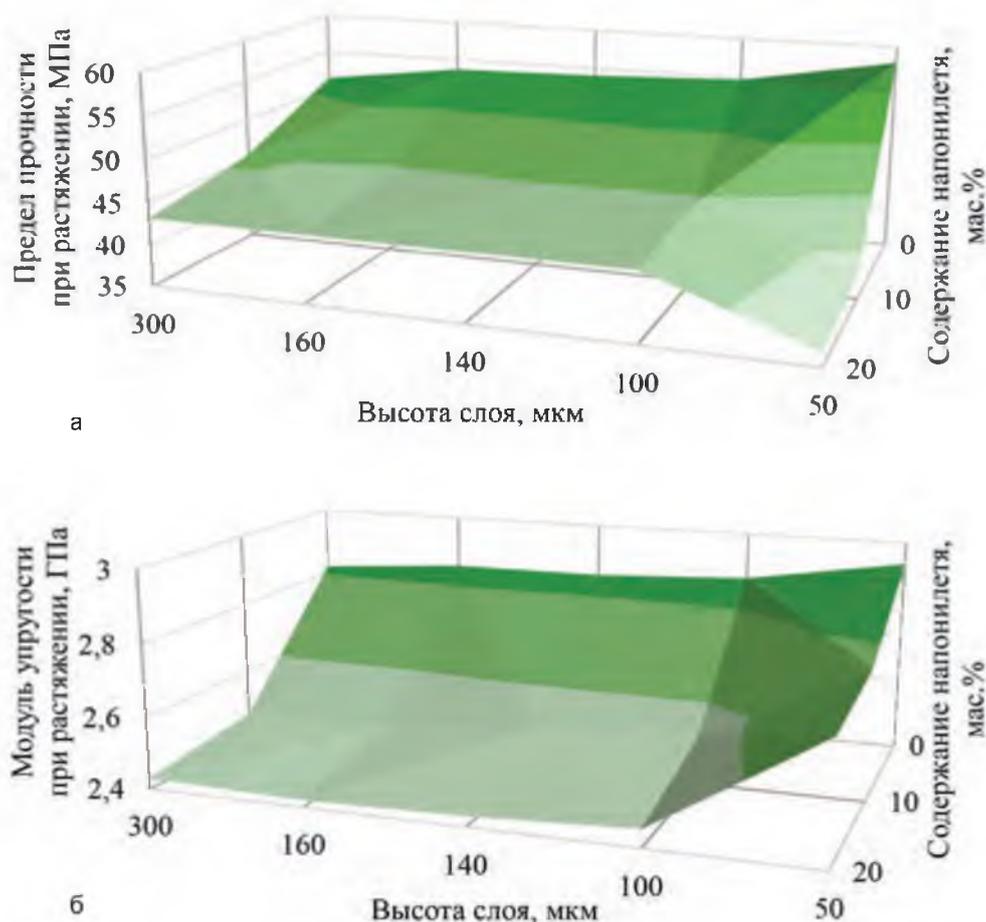


Рисунок 2 – Характеристики при растяжении материала: а – прочностные; б – упругие

Анализ влияния высоты слоя печати и содержания наполнителя в структуре материала позволяет сделать вывод о незначительном снижении физико-механических характеристик при введении наполнителя. Вместе с тем область поверхностной диаграммы характеристик композиционной системы не имеет значительных скачков свойств, что указывает на отсутствие влияние толщины слоя печати на физико-механические характеристики.

Полученные результаты позволяют всесторонне оценить характеристики полученной композиции и сделать вывод о целесообразности её применения в рамках производства малонагруженных изделий, требующих повышенной шероховатости.

Список использованных источников

1. Гибсон, Я. Технологии аддитивного производства. Трехмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство / Я. Гибсон, Д. Розен, Б. Стакер. – Москва: Техносфера, 2016. – 656 с.
2. Pou, J. Additive Manufacturing / J. Pou, A. Riveiro, P. Davim. – Handbooks in Advanced Manufacturing: First Edition, publ. Elsevier, 2021. – 741 p.
3. Ставров, В. П. Механика композиционных материалов: учебное пособие / В. П. Ставров. – Минск: БГТУ, 2008. – 262 с.
4. Брытков, Е. В. Механика композиционных материалов: учебное пособие / Е. В. Брытков, В. А. Санников; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2012. 74 с
5. Зедгенидзе, И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. – М.: Наука, 1976. – 390 с.