

Таким образом, опыт внедрения 3D-сканера Artec Spider в учебный процесс для студентов специальности 1-50 02 01 «Производство одежды, обуви и кожгалантерейных изделий» является очень интересным и перспективным, повышая уровень подготовки инженеров и позволяя будущим молодым специалистам получить навыки работы с 3D-сканерами и ориентироваться в современных 3D-технологиях обувного производства.

УДК 678.7:535-31

МОДИФИКАЦИЯ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ СМОЛ ИЗМЕЛЬЧЕННЫМИ ОТВЕРЖДЕННЫМИ ОТХОДАМИ

Ходер В.Б., магистрант, преп.-стаж., Кордикова Е.И., к.т.н., доц.

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

Реферат. В статье рассмотрены вопросы актуальности производства новых материалов для аддитивных технологий и получения композиционного фотополимерного материала для применения в лазерной стереолитографии на основе отходов технологического процесса. Приведены результаты исследований влияния содержания и дисперсности наполнителя на технологические свойства жидкой фотополимерной системы и физико-механические характеристики отвержденного композиционного материала. В результате проведения исследования установлено отсутствие ярко выраженного влияния формы и дисперсности измельченного наполнителя из фотополимерных отходов на технологические и физико-механические характеристики полученного композиционного материала.

Ключевые слова: композиционный материал, аддитивные технологии, лазерная стереолитография, SLA, 3D-печать, наполнитель, отходы, переработка.

В современном технологическом процессе производства продукции фундаментальным является использование концептуальных, функциональных или технических прототипов для производства и проверки межэтапной модели.

Быстрое прототипирование – это система методик, используемых для быстрого изготовления масштабной модели физической или сборной детали с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР) [1]. Одним из наиболее популярных методов быстрого прототипирования являются аддитивные технологии, использующие в своей основе послойное моделирование объектов различными методами. Основными преимуществами быстрого прототипирования являются сокращение времени и стоимости разработки продукта за счет производства видимо схожих моделей. Однако в последнее десятилетие активно стало развиваться направление разработки новых технологий аддитивного синтеза и материалов для них, способных заменить функциональное изделие без потери конечных эксплуатационных характеристик, а иногда и с улучшенными физико-механическими свойствами [2].

Одной из наиболее популярных технологий аддитивного синтеза является стереолитографический синтез. Стереолитография – это аддитивные процессы, которые моделируют изделие путем послойного отверждения модели выборочным или масочным воздействием излучения на фотореактивные полимерные смолы. К данному методу трехмерного моделирования относят: лазерную стереолитографию (SLA), проекционную масочную стереолитографию (DLP) и прямую ультрафиолетовую засветку (LCD). Представленные методы позволяют получать условно изотропные изделия, не ограничиваясь формой и сложностью, отличаются высокими механическими и визуальными свойствами [1].

Фотополимерные смолы, используемые в технологиях стереолитографии – это многокомпонентные системы, в состав которых входят полимеризующиеся мономеры, олигомеры и фотоинициаторы. Кроме этого, в состав могут вводиться добавки различного функционального назначения: красители, регуляторы, стабилизаторы, а также наполнители, обеспечивающие снижение величины усадки [3, 4].

Конечные физико-механические характеристики отвержденного материала обусловлены химической структурой олигомера, входящего в его основу. Для получения составов со

свойствами, отличающимися от исходных, применяются композиционные материалы на основе исходных с добавлением в состав наполнителей различного типа, размера и содержания.

Анализ литературных данных по направлениям развития современного общества показывает перспективность применения керамических, металлических и прочих видов порошковых материалов, а также отходов в качестве наполнителей для возможного получения новых специфических свойств материалов, снижения себестоимости готового изделия и повышения коэффициента экологичности получаемых продуктов.

Представляемые исследования являются актуальными и значимыми, в связи с ограниченной информацией в областях композиционных материалов для технологии лазерной стереолитографии.

Цель работы – изучение возможности использования измельченных мелкодисперсных отходов отвержденных фотополимерных смол в составе композиционных материалов для их дальнейшего применения в лазерной стереолитографии.

В качестве исходных компонентов для изготовления опытных образцов при исследовании физико-механических характеристик применяли фотополимерную смолу Formlabs Clear и измельченные частицы отвержденной смолы Formlabs различных марок (Clear, Gray, White) с фракцией 20, 40, 50 мкм и наполнением 10 и 20 мас. %.

Измельчение отходов проводили механическим методом с применением крестовой ударной, вибрационной и планетарной мельниц. Измельченный наполнитель имеет сложную форму, схожую со сферической, обладает низким водопоглощением и слеживаемостью, при нагревании выше 35 °С активно агломерируется и электризуется на поверхности более крупных частиц. В результате измельчения отвержденный полимер частично теряет свою хрупкость и прозрачность.

Введение наполнителя в жидкий фотополимер при смешении на высоких оборотах (без применения специализированного оборудования) позволяет получить однородный состав без образования комков. Наблюдение за композиционной системой в течении 520 суток показало отсутствие осадка на дне емкости, а также равномерность отстоявшегося состава. Данные факторы представляют возможным применение наполнителя в исследуемом диапазоне степени наполнения, не только в пределах лаборатории, но и в условиях индивидуального мелкосерийного производства или крупной промышленности.

Введение порошка в прозрачный жидкий полимер проводилось в условиях изоляции от видимого света и УФ-излучения в стеклянной таре. Полученная жидкая суспензия приобретает мутность и темно-зеленый оттенок.

В качестве основного вида механических испытаний выбрали растяжение как метод, позволяющий получить наибольшее количество показателей. Испытания проводились в соответствии со стандартом ASTM D638-10 для последующего сравнения результатов, полученных экспериментальным путем, наполненных и ненаполненных систем и данными производителя.

Синтез образцов производился на трехмерном стереолитографическом принтере Form 2 производителя Formlabs. Технологические параметры процесса: ориентация на рабочей поверхности – 45° по всем осям координат; плотность поддерживающих структур – 0,9; вид основания – полное; высота слоя – 160 мкм; температура печати 34 °С. Пост обработка образцов производилась в соответствии с рекомендациями производителя: очистка в изопропиловом спирте в камере Form Wash – 30 мин; отверждение в УФ-камере Form Cure – 60 мин при 60 °С.

Сравнительный анализ результатов экспериментального исследования влияния содержания и дисперсности наполнителя на физико-механические характеристики при растяжении показали снижение прочностных показателей (табл. 1). Предел прочности полученной композиции относительно исходного материала снизился на 16–18 %, в то время как относительно максимальных значений данных, представленных в техническом паспорте производителя Formlabs – на 30–32 %, однако попадает в представленный диапазон. Изменение модуля упругости образцов по отношению к исходным данным составляет 12–17 %. Основное изменение физико-механических характеристик связано с потерей пластичности материала и повышением шероховатости, это подтверждается хрупким видом разрушения образцов, образованием сколов и трещин. Снижение прочностных характеристик материала некритично по отношению к исходным показателям, по сравнению с имеющимися полимерными аналогами в промышленности, что позволяет сделать вывод о возможности применения данного метода переработки отходов.

Изменение прочностных показателей образцов в диапазоне изменения фракции (20, 40, 50 мкм) и дисперсности (10 и 20 мас. %) составляет не более 5 %.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики материала

Источник данных	Технический паспорт	Результаты эксперимента				
		Clear		Clear + отходы (10 мас.%)	Clear + отходы (20 мас.%)	
Материал			50 мкм	20 мкм	40 мкм	50 мкм
Размер частиц	–					
Предел прочности при растяжении, МПа	38,00-65,00	53,75	44,0	42,98	43,37	43,16
Модуль упругости при растяжении, ГПа	2,8	2,85	2,48	2,38	2,34	2,45

Изменение размера частиц в составе композиционного материала не позволяет вывести зависимость получаемых физико-механических характеристик, так как находится в пределах экспериментальной погрешности и не оказывает значительного влияния на конечные свойства образцов.

Значение плотности отвержденного композиционного материала имеет отклонение от исходного материала в пределах экспериментальной погрешности (менее 1,5 %), что подтверждает теорию о неизменности массы конечного изделия при введении в жидкий фотополимер отходов того же отвержденного материала.

Визуальное и микроскопическое исследование поверхности образцов показало, что наполнение системы частицами с дисперсностью 50 мкм повышает шероховатость образцов, однако снижает слоистость структуры (граница слоёв становится малоразличимой), за счет введения в состав наполнителя. Наполненный материал легче поддается механической постобработке, вплоть до получения гладкой поверхности и полупрозрачной структуры.

В результате исследования установлено отсутствие ярко выраженного влияния дисперсности наполнителя и его процентного содержания на физико-механические свойства композиционного материала на основе фотополимерной смолы с добавлением измельченных отходов отвержденных смол.

Целесообразно проводить дальнейшие исследования методов получения наполнителя из отходов отвержденных смол и составов фотополимерной композиции для материалов с общим содержанием частиц более 20 % по массе, а также исследования поверхностных характеристик и методов рационализации технологического процесса для печати композиционными материалами методом лазерной стереолитографии.

Дальнейшая разработка рекомендаций составов композиционной системы имеет широкую значимость для производств, активно применяющих прототипирование моделей на этапах проектировании изделий и компонентов. Внедрение полученного материала может снизить себестоимость производственного процесса и конечного продукта.

Список использованных источников

1. Гибсон, Я. Технологии аддитивного производства. Трёхмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство / Я. Гибсон, Д. Розен, Б. Стакер. – Москва: Техносфера, 2016. – 656 с.
2. Hamblen, J. O. Rapid prototyping of digital systems. Second edition: A Tutorial Approach / J. O. Hamblen, M. D. Furman. – New York: Kluwer Acad. Publ., 2001. – 278 p.
3. Шкуро, А. Е Технологии и материалы 3D-печати: учеб. пособие / А. Е. Шкуро, П. С. Кривоногов. – Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т., 2017. – 101 с.
4. 3D System. 3D принтеры, программное обеспечение, производство и здравоохранение: технические характеристики продуктов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.3dsystems.com/material-finder?type\[0\]=Plastic](https://www.3dsystems.com/material-finder?type[0]=Plastic). – Дата доступа: 16.02.2022.