

## РЕФЕРАТ

Отчет 49 с., 20 рис., 7 табл., 49 источн.

ФОТОПОЛИМЕР, АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЛАЗЕР, СТЕРЕОЛИТОГРАФИЯ, ПЕРЕРАБОТКА, ВТОРИЧНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ, КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ВЫСОТА СЛОЯ

Целью данной работы является установление взаимосвязи «свойства материала – содержание и вид вводимых добавок – условия проведения технологического процесса» для оценки возможности применения отходов аддитивного синтеза методом лазерной стереолитографии (SLA) в составе композиционных фотополимерных систем

Объектом исследования является технология получения изделий из наполненных систем методом SLA-печати.

Предмет исследования – технологические и физико-механические свойства композиционного материала на основе фотополимерной смолы с использованием в качестве наполнителя измельченных до мелкой фракции отходов лазерной стереолитографии.

В ходе работы проведен анализ литературы, обосновано направление экспериментальной работы, подобраны методологии лабораторных экспериментов. Проведено исследование и приведены характеристики современных фотополимерных материалов и композиционных составов для применения в технологии лазерной стереолитографии (SLA).

Определены физико-химические характеристики, установлена взаимосвязь «свойства материала – содержание и вид вводимых добавок – условия проведения технологического процесса» для композиционных материалов на основе фотополимерных смол с содержанием измельченных мелкодисперсных отходов технологии лазерной стереолитографии. Изучены макро- и микро-структуры отвержденных материалов в зависимости от содержания и дисперсности наполнителя. На основании экспериментальных данных и установленных закономерностей описаны рекомендации по подбору составов, режимов смешения и параметров печати композиционных систем на основе фотополимерных смол.

## ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия полимерные материалы нашли активное применение во многих областях промышленности, что помогло в разы упростить и удешевить производство продукции различной направленности. Особую нишу в производстве изделий из полимерных материалов занимают композиционные, так как они наиболее привлекательны для большинства сфер промышленности из-за специфики своих свойств и высокой прочности.

В современном промышленном секторе выделяют два подхода создания высокоэффективного производства: применение высокоэффективных технологий и материалов, а также внедрение модели замкнутого цикла с вторичным использованием материальных ресурсов. Для получения наилучшей эффективности рекомендуется применять оба подхода параллельно.

Важным является активный рост применения достижений научно-технического прогресса в промышленности, в частности использование аддитивных технологий (Additive Manufacturing), которые позволяют быстро создавать прототипы или функциональные изделия мелкосерийного производства. Аддитивные технологии – это производство изделий, основанное на поэтапном синтезе материала на плоскую поверхность или объемное основание, как правило, послойно, в отличие от субтрактивного метода или метода формования. Аддитивное производство позволяет изготавливать продукцию сложной формы, с применением различных материалов, в том числе тех, которые оказывают меньше отрицательного влияния на окружающую среду, нежели аналоги, произведенные традиционными методами [1].

Последние десятилетия стали пиком роста аддитивных технологий в различных отраслях по всему миру. По данным издательства McKinsey в период с 2005 по 2011 год количество оборудования аддитивного производства увеличилось в два раза [2]. Не смотря на всемирный кризис, связанный с пандемией в 2021 году в соответствии с оценками Wohlrath [3] и Hubs [4] тенденция развития рынка осталась устойчивой, не снижаясь менее чем на 7 % ежегодно, а по итогам показала активный прирост. Наряду с прогнозами различных источников [5–9] можно с уверенностью сказать о перспективности данных методов производства.

В настоящее время в Республике Беларусь ведутся разработки в области материаловедения и инжиниринга для использования аддитивных технологий не только малыми компаниями, но и на крупных предприятиях с точки зрения повышения эффективности производства и конкурентоспособности. Отработка технологии на новом оборудовании (3D-принтеры), подбор материалов для реализации заданных эксплуатационных характеристик и сама технология печати приводит к образованию большого количества отходов пластика.

Отходами в технологии лазерной стереолитографии считаются образующиеся в ходе отработки режимов печати некачественные или бракованные изделия, а также поддерживающие структуры, занимающие до 60 % от общей массы изделия. Ввиду дороговизны используемых в технологии материалов

денежные потери на отходы, наряду с проблемой экологического загрязнения, являются основополагающими факторами, тормозящими техническое развитие в области трехмерных технологий. Отходы SLA-технологии не могут быть подвергнуты вторичной переработке, ввиду специфики состава и свойств, получаемых в результате УФ-облучения (отверждения с образованием трехмерной структуры). Одно из возможных направлений использования таких твердых неплавких отходов – применение в качестве наполнителя для модификации свойств исходных фотополимерных композиций.

Разработка состава композиционного материала для технологии лазерной стереолитографии на основе фотополимерных смол с использованием отходов позволит снизить производственную нагрузку на экосистему и затраты на материалы, используемые в SLA-печати, что поспособствует развитию отечественных высоких технологий.

Целью данной работы является разработка технологических параметров получения композиционного материала на основе фотополимерных смол с использованием отходов производства для применения в технологии лазерной стереолитографии (SLA); установление взаимосвязи «свойства материала – содержание и вид вводимых добавок – условия проведения технологического процесса»; а также разработка составов наполненных фотополимерных систем с учетом областей применения.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

- научно-обоснованный подход к процессам наполнения жидких систем твердыми мелкодисперсными частицами;
- выявление степени влияния количества наполнителя и его дисперсности на реологические характеристики фотополимерной системы и кинетику отверждения;
- изучение закономерностей влияния содержания наполнителя в фотополимерной системе на физико-механические свойства отвержденного материала;
- изучение макро- и микроструктуры отвержденных материалов в зависимости от содержания и дисперсности наполнителя;
- установление влияния термической постобработки напечатанных образцов на структуру и физико-механические свойства;
- разработка рекомендаций по подбору составов, режимов смешения и параметров печати для композиционных систем на основе фотополимерных смол в зависимости от направления использования.