

Литература

1. Ухарцева, И. Ю. Современные тенденции применения высокомолекулярных соединений в создании упаковочных материалов для пищевых продуктов (обзор) / И. Ю. Ухарцева // Пластические массы. – 2014. – № 9/10. – С. 57–62.
2. Упаковка пищевых продуктов: материалы, технологии, экология / И. Ю. Ухарцева, В. А. Гольдаде, Е. А. Цветкова, В. М. Шаповалов ; под ред. В. А. Гольдаде. – Минск : Беларус. навука, 2023. – 286 с.
3. Ермаков, А. И. Утилизация тары и упаковки : учеб.-метод. пособие / А. И. Ермаков. – Минск : БНТУ, 2017. – 194 с.
4. Прудникова, С. В. Микробиологическая деградация полигидроксиалканоатов в модельных почвенных средах / С. В. Прудникова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2012. – № 10. – С. 39–43.
5. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение : ГОСТ 14236-81. – Введ. 30.06.1981. – Москва : Изд-во стандартов, 1989. – 10 с.
6. Соломатов, В. И. Биологическое сопротивление материалов / В. И. Соломатов, В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2001. – 196 с.

УДК 621.01

ПРОБЛЕМЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ В 3D-ТЕХНОЛОГИЯХ

С. Н. Бобрышева, И. Ю. Ухарцева

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Проведен анализ современных материалов, используемых в 3D-технологиях. Рассмотрены их свойства, оказывающие влияние на качество и эксплуатационные характеристики получаемых изделий. Перечислены основные требования к материалам различных классов, используемых в 3D-технологиях, позволяющие наметить пути разработки новых и совершенствования существующих материалов.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, 3D-принтеры, кастомизация, пластики.

PROBLEMS OF MATERIALS SCIENCE IN 3D TECHNOLOGIES

S. N. Bobrysheva, I. Y. Ukhartseva

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The analysis of modern materials used in existing 3D technologies is carried out. Their properties that affect the quality and performance characteristics of the resulting products are considered. The main requirements for materials of various classes used in 3D technologies are listed, allowing us to outline ways to develop new and improve existing materials.

Keywords: additive technologies, 3D-printing, 3D-printers, customization, plastics.

Настоящий бум развития аддитивных технологий приходится на нулевые годы, хотя первые разработки можно отнести к концу 19 в. (что, возможно, удивит многих) [1]. В настоящее время пик эйфории от всеприменимости аддитивных технологий пройден. Конечно, по-прежнему, нет сомнений в их инновационности и эффективности, но возникает осознание необходимости анализа выявленных и накопившихся проблем с целью определения главных направлений их развития.

В триединую проблему прорывного технического направления можно включить наличие специалистов, разработку технологий и оборудования, создание материалов. Количество специалистов в области аддитивных технологий повышается

за счет выпускников технических вузов страны, концепция технологий и оборудования определена, а создание материалов требует анализа их достоинств, недостатков для использования и расширения существующей номенклатуры.

Номенклатура материалов для аддитивных технологий включает как традиционные материалы, так и современные: металлы и сплавы (порошки, специализированные сварочные проволоки); полимеры (термопласты и реактопласты, фотополимеры, пастообразные пластики); композиты (дисперсно-наполненные, волокнисто-наполненные); пескообразные и вяжущие материалы, воск, гипс и даже биологические материалы. Перечень материалов объединяет как серийно выпускаемые (АБС пластик, поликапролактон PCL, полилактид PLA, поливинилсульфон PPSU, органическое стекло PPMA, полиэтилентерефталат PET, поливинилловый спирт PVA, полистирол PS, полиэтилен PEHР, полипропилен высокопрочный полистирол HIPS и др.), так и креативные (класс имитаторов – древесные, песчаники, металлов; биоматериалы – на основе волокон, семян растений; материал на основе углерода – графен, армированный углеродными нитями PLA). Если первые отличаются технологической проработанностью, недефицитностью и дешевизной, то другие – еще дорогие и производятся в ограниченном количестве. Интерес к ним обуславлен и оправдан комплексом тех свойств, которые позволяют решать актуальные проблемы производства и эксплуатации продукции – соответствия техническим, экологическим, требованиям утилизации, стоимости, экономии. Так, имитаторы позволяют сэкономить основной материал и получить изделие с хорошими эксплуатационными свойствами. Древесные имитаторы отличаются прочностью, в то же время легко обрабатываются, имеют красивую окраску и приятный запах, имитаторы песчаника отличаются гладкостью и эстетичностью поверхности, легкостью получения и обработки, отсутствием токсичности, имитатор металлов PLA пластик с микрочастицами бронзы, например, имеет бронзовую окраску легок и удобен для обработки.

Применяемый материал может иметь вид дисперсных порошков (металлов, сплавов, полимеров); гранул (полимеров); проволоки (металлов, сплавов); филаментов и волокон (полимеров и композиционных материалов). Выбор вида материала обуславлен в большей мере технологией для обеспечения точности геометрических параметров, качества поверхности, легкости обработки, а выбор состава материала – сферой применения и соответственно требуемым уровнем эксплуатационных свойств (например, уровнем их стабильности физических, механических и других свойств). Необходимо отметить, что в процессе применения нового материала возникают неожиданные проявления аддитивных технологий: большая усадка, неоднородность, расслоение, шероховатость, неточность размеров, которые зависят как от материала, так и от применяемой технологии. Решение таких проблем часто представляет компромисс, а иногда приводит к отказу от такой технологии. Анализ результатов использования различных классов материалов в аддитивных технологиях позволил выявить следующие вопросы, возникающие при выборе материала: выбор технологии и оборудования, зависящих от физико-химических, механических и технологических и эксплуатационных свойств материала; вид исходного материала, обуславливающий конструктивные особенности 3D-принтера, температура переработки материала, необходимость постобработки, возможность обеспечения экологичности и утилизации отработанного материала.

Ниже отмечены общие достоинства и недостатки аддитивных технологий, в некоторой мере касающиеся и аспектов применения материалов.

Рассмотрим достоинства:

– по аддитивным технологиям можно изготавливать все, одно из главных требований при этом – выбор необходимого материала, однако результат может быть ниже ожидаемого по качеству в силу специфики технологии (послойного синтеза);

– снижение трудозатрат: печатанье объекта по разработанной модели предполагает минимальное присутствие специалиста;

– возможность производить уникальную, штучную, сложную продукцию (кастомизация), применять новые материалы, оперативно вносить изменения в конструкцию изделия, меняя программу, работая с CAD-моделью;

– снижение массы объекта и количества деталей сложных конструкций в результате топологической оптимизации, последнее позволяет выбрать из существующего ассортимента материал, соответствующий требованиям и снизить материалоемкость в результате оптимизации конструкции;

– экологичность производства, применение аддитивных технологий снижает количество отходов, уровень шума и выделение вредных веществ по сравнению с традиционными процессами – литьем, фрезерованием, штамповкой.

Укажем недостатки:

– ограничение размеров камеры 3D-принтеров, обусловленное как техническими особенностями принтеров, так и технологическим временем изготовления объекта из конкретного материала;

– высокая стоимость из-за временных затрат (скорость изготовления серии по причине штучного изготовления, недостаточна для применения в массовом производстве);

– точность, качество поверхности, необходимость доработки, связанные с видом исходного материала (дисперсность, волокнистость) и послойной структурой изделия.

Изучение существующих недостатков и проблем в области материаловедения позволяет наметить пути их устранения и решения.

Прежде всего, необходимо расширение номенклатуры материалов, которое возможно за счет использования нетрадиционных материалов биологического и растительного происхождения, ископаемых минеральных компонентов, волокнистых и дисперсных армирующих наполнителей в составе композитов [2]. Обеспечение основных качественных характеристик (прочность, монолитность, точность размеров, отсутствие усадки и минимальная шероховатость) во многих случаях достигается варьированием состава, дисперсности исходного материала, соблюдением технологических режимов.

Устранение проблем материаловедения в аддитивных технологиях возможно только в комплексе с технологиями и оборудованием. Концепция аддитивных технологий определена и в настоящее время активно осуществляются модификация и разработка оборудования печати, расширение размеров печати, применение гибридных вариантов (сочетание аддитивных технологий с традиционными). Однако такая проблема как временные затраты, вероятно, будет ограничивать применение аддитивных технологий в серийном производстве.

Таким образом, расширяются области использования аддитивных технологий и номенклатура используемых материалов. Правильный подбор материала позволяет улучшить качество изделий, снизить материалоемкость и трудоемкость изделия. Но практический опыт, наработанный специалистами, показал, что применение аддитивных технологий в настоящее время имеет больше целесообразности при штучном производстве, изготовлении уникальных объектов, объектов одного назначения

с незначительными особенностями, что имеет место при ремонте оборудования, создании сложных конструкций, в медицине при протезировании, замене органов. В настоящее время аддитивные технологии эффективно применяются в дополнение к традиционным.

Литература

1. Фролова, А. Б. История, текущее состояние и перспективы развития аддитивных технологий / А. Б. Фролова, А. И. Шигапов // Научные известия. – 2022. – № 29. – С. 198–202.
2. Сорокин, И. 7 необычных материалов для 3D-печати / И. Сорокин. – URL: <https://kologo.ua/blog/3d-tehnologii/kreativnye-materialy-dlya-3d-pechati-samye-neveroyatn> (дата обращения: 07.11.24).

УДК 546.284-31:544.722.13

**ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ
ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ
ПОРОШКОВ ИТТРИЙ-АЛЮМИНИЕВОГО ГРАНАТА,
ЛЕГИРОВАННОГО ИОНАМИ ЦЕРИЯ**

**О. В. Давыдова, Е. Н. Подденежный, А. И. Кравченко,
Н. Е. Дробышевская, А. Д. Лёвкина**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Разработаны составы и методика формования композиционных покрытий из пленкообразующих растворов, содержащих поливиниловый спирт (ПВС), тетраэтоксисилан (ТЭОС) и наноструктурированные порошки иттрий-алюминиевого граната, легированные ионами церия YAG : Ce. Пленочные покрытия были нанесены методом полива на подложки из стекла, обработанные изопропиловым спиртом. Адгезионную прочность исследуемых композиционных материалов определяли в соответствии с ГОСТ 31149-2014 методом решетчатых надрезов. Установлено, что покрытия, полученные без добавления ТЭОС, отслаиваются от подложки, в то время как покрытия с введением ТЭОС в пленкообразующий раствор демонстрируют удовлетворительную адгезию. Спектры люминесценции покрытий, полученных с введением YAG : Ce, показали, что наибольшая интенсивность люминесценции наблюдается для покрытий с содержанием люминофора 20 мас. %. При увеличении количества порошка наблюдается эффект концентрационного тушения.

Ключевые слова: покрытия, люминесценция, поливиниловый спирт, иттрий алюминий-гранат, ионы, церий.

**LUMINESCENT COATINGS BASED ON POLYVINYL ALCOHOL
AND NANOSTRUCTURED POWDERS OF YTTRIUM-ALUMINUM
GARNET DOPED WITH CERIUM IONS**

**O. V. Davydova, E. N. Poddenezhny, A. I. Kravchenko,
N. E. Drobyshevskaya, A. D. Levkina**

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

Compositions and methods of forming composite coatings from film-forming solutions containing polyvinyl alcohol (PVA), tetraethoxysilane (TEOS) and nanostructured yttrium-aluminum garnet powders doped with cerium ions YAG : Ce have been developed. The film coatings were applied by irrigation to a glass substrate treated with isopropyl alcohol. The adhesive strength of the studied composite materials was determined in accordance with GOST 31149-2014 by the method of lattice incisions. It was found that coatings obtained without the addition of TEOS peel off from the substrate, while coatings with the introduction of TEOS into the film-forming