

УДК 620.22–419.8:004.414.32

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

А.С. Петровский, И.Ю. Ухарцева

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

Развитие современного машиностроения требует применения новых конструкционных материалов, обладающих высокими эксплуатационными свойствами. К числу наиболее перспективных относятся композиционные материалы. Современные композиционные материалы представляют собой многокомпонентные системы, состоящие из матрицы и армирующего элемента, обладающего высокой прочностью. В отличие от традиционных материалов композиты позволяют совмещать в себе лучшие свойства каждого из компонентов, обеспечивая повышенную прочность, лёгкость, износостойкость и устойчивость к внешним воздействиям [1].

Идея использования многокомпонентных материалов не нова. Ещё в Древнем Египте строители использовали первые композиты из смеси соломы и глины для создания кирпичей. Развитие авиации и космических технологий в XX веке потребовало материалов, обладающих высокой прочностью при минимальном весе, что дало толчок развитию полимерных и металлических композитов [2].

Особенно бурно создание композиционных материалов стало развиваться с появлением аддитивных технологий, которые лежат в основе прототипирования. С развитием технологий 3D-печати появилось множество новых возможностей для использования композитных материалов, так как они позволяют создавать сложные формы, снижают расход материалов и сокращают производственные затраты [3]. Сегодня аддитивные технологии предоставляют возможность создавать материалы с заданными свойствами на молекулярном уровне, что делает композиты ещё более перспективными для различных отраслей промышленности, в том числе и для машиностроения.

Наиболее распространёнными методами 3D-печати с использованием композитов являются:

1. Метод послойного наплавления *FDM (Fused Deposition Modeling)*, основанный на экструзии нити из термопластичного полимера, который может содержать армирующие добавки, такие, как углеродные или стеклянные волокна. Преимуществом данного метода является низкая стоимость, простота использования и возможность создания крупногабаритных деталей. Несмотря на относительно низкую точность и возможность расслоения в структуре при печати сложных геометрий, такой

метод применяют при производстве прототипов, небольших партий автомобильных деталей.

2. *SLA (Stereolithography)* – стереолитография использует жидкие фотополимеры, которые затвердевают под воздействием ультрафиолета. Композитные материалы для стереолитографии содержат добавки, улучшающие механические и термические свойства. Метод обладает высокой точностью и возможностью получения готовых изделий с гладкой поверхностью. Хотя стоимость расходных материалов высока и выбор композитных смол ограничен, стереолитография имеет довольно широкое применение в микроэлектронике.

3. *SLS (Selective Laser Sintering)* – селективное лазерное спекание осуществляют при использовании лазера для спекания порошковых материалов, включая композиты на основе полимеров и металлов. Метод позволяет получать высокопрочные детали и осуществлять печать сложных геометрий без поддержек. Несмотря на сложность в калибровке оборудования и высокой стоимости установки, его применяют в автомобилестроении и производстве функциональных прототипов.

4. *DMLS (Direct Metal Laser Sintering)* – лазерное спекание металлов позволяет создавать детали из металлических композитов, используя порошковые сплавы. Несмотря на дорогостоящее оборудование и сложность постобработки, высокая точность метода, прочность изделий и возможность работы с редкими металлами сделали его неоценимым при производстве деталей двигателей для машиностроительной и космической отраслей [4].

Особенности существующих методов *3D*-печати привели к использованию для прототипирования композиционных материалов, обладающих определенными свойствами.

Все чаще в современном машиностроении применяют полимерные композиционные материалы, которые используют преимущественно в тех случаях, когда ни один другой материал не отвечает возрастающим требованиям новой техники. Среди полимерных композиционных материалов наиболее часто применяют полилактиды (*PLA*) с углеродными волокнами, полиэфирэфиркетон (*PEEK*)-композиты и стеклопластик (*GFRP*). Такие композиты обладают небольшой массой, высокой прочностью, устойчивостью к коррозии и химическим воздействиям, хорошей механической гибкостью и возможностью модификации для придания специфических свойств (термостойкость, электропроводность). Для нужд автомобиле- и машиностроения полимерные композиты используют для *3D*-печати термостойких, лёгких, но прочных деталей.

Металлические композиционные материалы, содержащие в металлической матрице армирующие добавки (карбид кремния, оксиды алюминия, титана, магния, углеродные нанотрубки), имеют высокую прочность, жёсткость и износостойкость, термостойкость, устойчивость к

экстремальным температурам, отличные электро- и теплопроводящие свойства. Для прототипирования в машиностроении наиболее часто используют алюминиевые композиты.

В основе керамических композиционных материалов лежит матрица, состоящая из керамики, а армирование обеспечивается волокнами или различными частицами. Материалы характеризуются высокой твёрдостью и термостойкостью, устойчивостью к химической и механической коррозии, огнестойкостью и низким коэффициентом теплового расширения. Например, углеродно-керамические композиты (C/SiC) применяют для изготовления методом 3D-печати прототипов и деталей тормозных систем спортивных автомобилей, а оксидные композиты (Al_2O_3 , ZrO_2) – для теплозащитных экранов [5].

В зависимости от поставленных задач можно подобрать композиционные материалы, которые отвечали бы всем требованиям эксплуатации изделий современного машиностроения и обладающие, например, такими свойствами, как механическая прочность, относительно низкая удельная масса, пожароопасность, невысокая стоимость, хорошая обрабатываемость, низкие затраты на утилизации и т.д.

Современные методы прототипирования позволяют решить ряд инженерных задач, направленных на снижение металлоемкости изделий, смоделировать и более точно определить нагрузки на проектируемые узлы и детали, снизить трудоемкость процесса их разработки и повысить качество продукции машиностроения в целом. [6].

Сегодня аддитивные технологии продолжают совершенствоваться. Основными направлениями развития являются разработка новых композиционных материалов, обладающих способностью к самовосстановлению, биodeградации, программируемыми свойствами такими, как изменение формы под воздействием внешних факторов. Сочетание аддитивных технологий с искусственным интеллектом позволит создавать самокорректирующиеся процессы печати и улучшать качество готовых изделий, а увеличение скорости печати повысить рентабельность производства, добиться более точного контроля за структурой и свойствами материала и уменьшить количество отходов [4,7].

Важным аспектом является необходимость создания новых методов тестирования и сертификации изделий, напечатанных с использованием композитных материалов, чтобы гарантировать их безопасность и долговечность.

Тем не менее, несмотря на высокую стоимость материалов и проблему гарантии и безопасности, композиты в аддитивных технологиях – это шаг в будущее, позволяющий разрабатывать инновационные изделия с уникальными свойствами, открывая новые горизонты в промышленности и науке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джонс, Р.М. Механика композитных материалов. / Р.М.Джонс — *CRC Press*, 2018 – 564 с.
2. Гершензон, Д.Я., Композиционные материалы и аддитивные технологии / Д.Я. Гершензон, С.М. Григорьев. – М.: Машиностроение, 2018.– 857с.
3. Гибсон, И. Технологии аддитивного производства: 3D-печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство. / И. Гибсон, Д.У. Розен, Б. Стакер. –*Springer*, 2021 – 616 с.
4. Бикас, Х., Методы аддитивного производства и подходы к моделированию: критический обзор / Х. Бикас, П., Ставропулос, Г. Хриссолурис // *Международный журнал передовых производственных технологий*. – 2019. – Т. 104. – С. 2853-2875.
5. 3D-печать композитов с полимерной матрицей: обзор и перспективы / Ван С., Цзян М., Чжоу З., Гоу Дж., Хуэй Д. // *Композиты. Часть В: Инженерия*. – 2017. – Т. 110. – С. 442-458.
6. Бобрышева, С.Н. Современные полимерные композиционные материалы в машиностроении / С.Н. Бобрышева, И.Ю. Ухарцева // *Инновационное станкостроение, технологии и инструмент: материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 30 нояб. 2023 г.* / М-во пром-сти Респ. Беларусь [и др.]; под общ. Ред. М.И. Михайлова. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2024.– С.69-71.
7. Ковалёв, С.П. Металлические композиционные материалы: перспективы и проблемы / С.П. Ковалёв // *Материаловедение*. – 2019. – №6. – С. 52-58.