

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

А. И. Рудской А. А. Попович

МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Учебник



ПОЛИТЕХ-ПРЕСС

Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

Санкт-Петербург
2024

УДК 37:778.64
ББК 74:30.68:345
Р83

Р е ц е н з е н т ы:

Доктор технических наук, начальник лаборатории наноматериалов и карбидных композитов АО «Центральный научно-исследовательский институт материалов имени Д. И. Менделеева» *С. К. Гордеев*
Кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник
НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» *Б. В. Фармаковский*

Рудской А. И. **Материалы и оборудование для аддитивного производства** : учебник / А. И. Рудской, А. А. Попович. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 398 с.

Представлена информация об особенностях новых материалов для аддитивного производства. Рассмотрены различные типы материалов для аддитивных технологий, описаны их структура и свойства, получаемые в процессе аддитивного производства. Приведены примеры оборудования и описаны рынки аддитивного производства.

Учебник предназначен для обучающихся по дополнительным образовательным программам и разработан с учетом требований ФГОС ВПО – бакалавриат по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» от 2 июня 2020 г. № 701 и профессионального стандарта «Специалист по аддитивным технологиям» от 5 октября 2020 г. № 697н.

Табл. 11. Ил. 324. Библиогр.: 219 назв.

Печатается по решению
Совета по издательской деятельности Ученого совета
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

ISBN 978-5-7422-8328
doi:10.18720/SPBPU/2/id24

© Рудской А. И., Попович А. А., 2024
© Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
Глава 1. Материалы для аддитивного производства	8
1.1. Металлические материалы	11
1.2. Керамические материалы	41
1.3. Полимерные материалы.....	50
1.4. Композиционные материалы	59
1.5. Функционально-градиентные материалы	68
1.6. Умные материалы	75
1.7. Метаматериалы.....	88
1.8. Сетчатые материалы.....	101
Глава 2. Оборудование и рынок аддитивного производства	106
2.1. Оборудование для аддитивного производства	106
2.2. Рынок аддитивных технологий	179
Заключение.....	208
Библиографический список	210
Приложения	
<i>Приложение 1.</i> Стандарты в области аддитивных технологий	220
<i>Приложение 2.</i> Перечень тематических терминов и словосочетаний в сегменте аддитивных технологий	223
<i>Приложение 3.</i> Вопросы для тестирования	226
<i>Приложение 4.</i> Презентационные материалы.....	243

ВВЕДЕНИЕ



Андрей Иванович
РУДСКОЙ



Анатолий Анатольевич
ПОПОВИЧ

В мире современных технологий искусственный интеллект и облачные вычисления открыли путь к невиданному повышению эффективности и производительности промышленности. Среди этих передовых инноваций особое значение имеет аддитивное производство — технология, которая прочно заняла свое место в производственной сфере.

Благодаря 3D-печати можно создавать кастомизированные детали, сочетающие в себе множество традиционных компонентов, что сокращает количество необходимых деталей. Кроме того, аддитивное производство оптимизирует и ускоряет многие ранние этапы жизненного цикла изделия, помогая компаниям быстрее перейти к крупномасштабному производству и внедрению аддитивных технологий (АТ); стимулирует инновации и позволяет разработчикам по-новому подходить к решению проблем, что приводит к созданию более совершенных конструкций и использованию новых материалов.

Применяя аддитивные технологии, можно обеспечить свободу выбора конфигурации изделия, что позволит оптимизировать массовые и функциональные параметры детали (например, за счет использования сотовых и иных сложных конструкций, уменьшения толщины стенок, а также за счет объединения нескольких деталей и изготовления их как единое целое). Немаловажный фактор — существенное уменьшение сроков изготовления первых образцов деталей (на этапе исследований и разработки новых изделий) и экономия материала.

Аддитивный подход позволяет создавать уникальные изделия с внутренней полой структурой, высокоэффективную литейную оснастку для изготовления деталей, фильтрующие элементы с сетчатой структурой, размер ячеек которой определяется размером гранул порошкового материала, и пр. С появлением данных технологий представилась возможность изготавливать детали с прямоугольной либо другой формой внутренних полостей (спиралевидного типа) и с любой формой сетчатого наполнения.

Аддитивные технологии реализуют инновационные подходы к изготовлению изделий различного функционального назначения на основе компьютерных 3D-моделей и представляют собой эффективную альтернативу традиционным способам промышленного производства.

Немаловажным преимуществом технологий аддитивного производства (АП) является гибкое и оперативное реагирование на запросы ремонтных подразделений как при изготовлении запасных частей, так и при ремонте изношенных или поврежденных деталей и узлов. Кроме того, в случае оснащения участков АП современным оборудованием для 3D-сканирования, программными комплексами для обработки результатов измерений, а также цифровыми решениями в области управления жизненным циклом изделий они могут выполнять функцию подразделений реверс-инжиниринга.

Применение аддитивных технологий — это работа, которая требует тщательной подготовки квалифицированных кадров и переподготовки уже действующих специалистов предприятий, владеющих не только основными технологиями, применяемыми при создании изделий на аддитивных установках, но и разбирающихся в материалах, используемых в аддитивных технологиях, имеющих представление об оборудовании и рынках АП. Все это обеспечит наиболее эффективную подготовку для работы с аддитивным оборудованием.

Внедрению АТ в массовое производство способствует не только расширение номенклатуры материалов, но и создание принципиально новых материалов с требуемыми физико-химическими и механическими свойствами либо комплексом свойств. Среди перспективных материалов для АП можно назвать высокоэнтропийные сплавы и ультравысокотемпературную керамику, монокристаллические и интерметаллидные сплавы, а также материалы с эффектом памяти формы, включая сплавы и полимерные композиты, и другие материалы.

Разработка новых материалов и их адаптация под требования современных машин аддитивного производства и изучение свойств изделий, полученных аддитивным способом с различной вариацией технических параметров, — одно из основных направлений повышения эффективности работы различных устройств и механизмов.

Используя новые, 4D-интеллектуальные, материалы с управляемыми свойствами, материалы с заданными локальными свойствами и возможности АП, можно создавать более экономичные и легкие конструкции, которые обеспечивают максимальную функциональную полезность в широком спектре вариантов применения. Разработка новых материалов является одним из ключевых направлений развития современного мира.

Целью обучения по программам дополнительного образования является подготовка высококвалифицированных кадров для производства сложных изделий с помощью аддитивных технологий и разработки комплексных решений в области производств, использующих методы АТ. Для этого в рамках модулей, реализуемых в программах повышения квалификации и переподготовки, слушатели знакомятся с материалами, применяемыми для процессов аддитивного производства, технологическим оборудованием для изготовления изделий с применением аддитивных технологий и рынками АП.

*Рудской Андрей Иванович
Попович Анатолий Анатольевич*

МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Учебник

Технические редакторы: *Л. В. Ларионова, О. В. Махрова, Т. Б. Цыганова*
Корректоры *Н. Б. Цветкова*
Компьютерная верстка *Е. Г. Орловского*
Дизайн обложки

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, т. 2; 95 3005 – учебная литература

Подписано в печать .2024. Формат 60×84/8. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 49,75. Тираж. Заказ

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре
Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14