

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

# МАТЕРИАЛЫ И АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Современные материалы  
для аддитивных технологий

Учебное пособие



**ПОЛИТЕХ-ПРЕСС**  
Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
Петра Великого

Санкт-Петербург  
2021

Р е ц е н з е н т ы:

Доктор технических наук, профессор Высшей школы физики  
и технологий материалов СПбПУ *Е. Л. Гюлиханданов*

Кандидат технических наук, доцент, ученый секретарь  
«НИЦ «Курчатовский институт» — «ЦНИИ КМ «Прометей» *Б. В. Фармаковский*

Авторы

А.А. Попович, В.Ш. Суфияров, Н.Г. Разумов,  
Е.В. Борисов, Д.В. Масайло, И.С. Гончаров

**Материалы и аддитивные технологии. Современные материалы для аддитивных технологий** : учеб. пособие / А. А. Попович [и др.]. — СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. — 204 с.

Соответствует содержанию дисциплин «Структура и свойства материалов, получаемых в процессе аддитивного производства» и «Технологии получения материалов для аддитивного производства» магистерской программы 22.04.01\_10 «Материалы и технологические процессы аддитивного производства», разработанной в соответствии с СУОС СПбПУ.

Представлена актуальная информация о материалах аддитивного производства. Проведен анализ современного состояния проблем в области материалов, обеспечивающих производство изделий на базе современных инновационных технологий. Представлен разработки Политехнического университета в области аддитивного производства.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям «Металлургия», «Машиностроение», «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», «Материаловедение и технология материалов».

Табл. 24. Ил. 97. Библиогр.: 524 назв.

Печатается по решению

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

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
<b>ГЛАВА 1. Металлические материалы</b>	<b>8</b>
1.1. Интерметаллидные титановые сплавы	8
1.2. Высокоэнтропийные сплавы	24
1.3. Порошковые металлические материалы	35
1.4. Сплавы с эффектом памяти формы	47
<b>ГЛАВА 2. Керамические материалы</b>	<b>61</b>
2.1. Ультравысокотемпературная керамика	70
2.2. Пьезокерамика	82
<b>ГЛАВА 3. Композиционные материалы</b>	<b>108</b>
<b>ГЛАВА 4. Полимерные материалы</b>	<b>135</b>
<b>ГЛАВА 5. Функционально-градиентные материалы</b>	<b>154</b>
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	172
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	174
<i>Приложение. Углепластики</i>	202

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие аддитивных технологий (АТ) – одна из приоритетных задач промышленности, позволяющая, прежде всего, эффективно реализовать любые конструкторские и инженерные идеи в наукоемких отраслях производства, таких, как авиа-, двигателе-, моторо- и ракетостроение, современные электронные приборы и др.

Внедрению аддитивных технологий в массовое производство способствует не только расширение номенклатуры материалов, но и создание принципиально новых материалов с необходимыми физико-химическими и высокими механическими свойствами либо комплексом свойств. Среди перспективных материалов для аддитивного производства (АП) можно назвать высокоэнтропийные сплавы и ультравысокотемпературную керамику, монокристаллические и интерметаллидные сплавы, а также сплавы с эффектом памяти формы и др. материалы.

Разработка новых порошковых материалов, адаптация этих материалов под требования современных машин аддитивного производства и изучение свойств изделий, полученных по аддитивной технологии с различной вариацией технических параметров – одно из основных направлений повышения эффективности работы различных устройств и механизмов.

Сложные инженерные решения имеют растущий спрос на интеллектуальные металлические материалы со свойствами, которые изменяются в различных пространственных местоположениях в пределах одной и той же части. Используя новые, 4D-интеллектуальные металлические материалы с управляемыми свойствами, материалы с заданными локальными свойствами и возможности аддитивного производства, можно создавать более экономичные и легкие конструкции, которые обеспечивают максимальную функциональную полезность в широком спектре вариантов применения.

Изготавливая изделия из перспективных интерметаллидных сплавов, можно повысить эффективность работы различных узлов авиационной и космической техники, в частности компонентов газотурбинных двигателей. Создавая функционально-градуированные материалы с эффектом памяти с помощью 3D-печати, можно расширить возможности металлических датчиков и приборов для аэрокосмической, автомобильной промышленности и робототехники. Своевременное и энергоэффективное развитие новых материалов, в том числе с эффектом памяти, новых функциональных сплавов и методов их производства, позволяет снизить экологическую нагрузку.

Решение важнейших технических проблем, возникающих в процессе аддитивного производства, зависит от объема знания о перспективных материалах.

В пособии представлены современные тенденции развития новых материалов для аддитивного производства и разработки Политехнического университета в данной области.