

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

---

*А. И. Рудской А. А. Попович*

# **ФУНКЦИОНАЛЬНО- ГРАДИЕНТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ**

Монография



**ПОЛИТЕХ-ПРЕСС**

Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
Петра Великого

Санкт-Петербург  
2022

ББК 30.36:30.37:30.68  
Р83

Рецензенты:

Академик РАН, заведующий кафедрой технологии сварки  
и диагностики МГТУ имени Н. Э. Баумана

*Н. П. Алёшин*

Член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник ИФТТ РАН

*М. И. Карпов*

*Рудской А. И.* **Функционально-градиентные материалы и аддитивные технологии их получения** : монография / А. И. Рудской, А. А. Попович. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 360 с.

Представлена информация о современных функционально-градиентных материалах и их применении. Описано моделирование процессов получения сплавов с эффектом памяти формы и функционально-градиентных материалов. Рассмотрены аддитивные технологии получения функционально-градиентных материалов. Особое внимание уделено примерам исследований и разработок в рассматриваемой области производства.

Предназначена для широкого круга специалистов, работающих в промышленности и научных учреждениях, а также для студентов, обучающихся по направлениям магистерской подготовки и аспирантуры: «Металлургия», «Машиностроение», «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», «Материаловедение и технология материалов».

Печатается по решению

Совета по издательской деятельности Ученого совета

Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

ISBN 987-5-7422-7649-4  
doi:10.18720/SPBPU/2/id22-15

© Рудской А. И., Попович А. А., 2022  
© Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого, 2022

# Оглавление

Введение .....	7
Библиографический список.....	15
<b>Глава 1. Современные функциональные материалы и их применение .....</b>	<b>17</b>
1.1. Понятие «умные материалы» .....	17
1.2. Применение умных материалов .....	36
1.3. Характеристика материалов.....	45
Библиографический список.....	79
<b>Глава 2. Моделирование процессов получения сплавов с эффектом памяти формы.....</b>	<b>90</b>
2.1. Разработка численной компьютерной модели для прогнозирования механических свойств образцов сплавов с эффектом памяти формы системы Ti–Ni с различным химическим составом .....	90
2.2. Разработка численной компьютерной модели для прогнозирования механических свойств образцов СПФ системы Ti–Ni с пористой структурой (градиентной плотностью) .....	110
2.3. Разработка численной компьютерной модели для прогнозирования усталостной прочности образцов СПФ системы Ti–Ni с пористой структурой (градиентной плотностью) и различным химическим составом .....	122
Библиографический список.....	134
<b>Глава 3. Моделирование и изготовление изделия с функционально-градиентной плотностью .....</b>	<b>135</b>
3.1. Разработка ячеистых структур и компьютерный анализ изменения механических характеристик материалов с градиентной плотностью .....	135
3.2. Установление корреляции между расчетными и экспериментальными данными прочностных характеристик материалов и конструкций с градиентной плотностью .....	148
3.3. Разработка и расчет компьютерной модели изделия с градиентной плотностью .....	159
3.4. Изготовление конструкции тазобедренного эндопротеза с функционально-градиентными характеристиками.....	174
Библиографический список.....	175

<b>Глава 4. Технологии получения функционально-градиентных материалов</b> .....	179
4.1. Функционально-градиентные материалы с управляемым химическим составом .....	179
4.2. Функционально-градиентные материалы с управляемой плотностью .....	214
4.3. Функционально-градиентная пьезокерамика .....	223
4.4. Функционально-градиентные катодные материалы.....	261
4.5. Функционально-градиентные композиционные материалы с непрерывным углеродным волокном.....	282
Библиографический список.....	290
<b>Глава 5. Высокоэнтропийные сплавы</b> .....	299
5.1. Термодинамическая стабильность высокоэнтропийных сплавов.....	300
5.2. Синтез и свойства высокоэнтропийных материалов .....	306
5.3. Аддитивное производство высокоэнтропийных сплавов .....	343
Библиографический список.....	346
<b>Заключение</b> .....	353
Библиографический список.....	361