

УДК 669.018
ББК 34.2
Д73

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Казанского национального исследовательского технологического университета*

Рецензенты:
канд. техн. наук, доц. С. Ю. Ситников
канд. хим. наук, доц. А. В. Желовицкая

Дресвянников А. Ф.

Д73 Высокоэнтропийные сплавы. Теоретические и прикладные аспекты : монография / А. Ф. Дресвянников, М. Е. Колпаков; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2023. – 208 с.

ISBN 978-5-7882-3401-4

Рассмотрены основные критерии высокоэнтропийных сплавов, включая концепции, свойства, эффекты и области применения. Работа содержит полезную информацию для работы с материалами, которые подвергаются воздействию высоких температур.

Предназначена для сотрудников вузов и научных организаций, аспирантов, студентов, обучающихся по направлениям подготовки «Химическая технология» и «Материаловедение».

Подготовлена на кафедре технологии электрохимических производств.

УДК 669.018
ББК 34.2

ISBN 978-5-7882-3401-4

© Дресвянников А. Ф., Колпаков М. Е., 2023
© Казанский национальный исследовательский
технологический университет, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	6
ВВЕДЕНИЕ	8
1. ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗРАБОТКИ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ.....	10
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ.....	18
2.1. Эффект высокой энтропии.....	25
2.2. Концентрация валентных электронов	31
2.3. Эффект медленной диффузии.....	32
2.4. Эффект сильного искажения решетки	36
2.5. Эффект коктейля.....	37
2.6. Фазовый отбор в высокоэнтропийных сплавах: теоретический подход	39
2.7. Фазообразование в высокоэнтропийных сплавах: прогнозирование с помощью вычислительных методов	47
2.8. Кристаллические структуры и фазовые превращения.....	51
2.8.1. Фазы простого твердого раствора в высокоэнтропийных сплавах	52
2.8.2. Фазы при повышенных температурах	53
2.8.3. Моделирование фазовых равновесий.....	54
3. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ	55
3.1. Карботермический ударный синтез	56
3.2. Пиролиз в быстро движущемся слое	58
3.3. Механическое легирование.....	60
3.4. Метод лазерного синтеза	62
3.5. Совместное распыление	62
3.6. Ультразвуковой химический метод	63
3.7. Метод электроосаждения.....	63
3.8. Соосаждение на прекурсоры.....	65

3.9. Микроволновый синтез	66
3.10. Метод вакуумно-дуговой плавки.....	69
3.11. Метод порошковой металлургии.....	70
3.12. Метод осаждения.....	72
3.13. Наночастицы высокоэнтропийных сплавов	73
3.14. Нанопористые и полые материалы.....	77
3.15. Композитные материалы на основе высокоэнтропийных сплавов	78
3.16. Инжиниринг дефектов.....	83
3.17. Деформационные эффекты	89
3.18. Синтез эффективных катализаторов.....	90
3.19. Упорядоченные высокоэнтропийные интерметаллиды	97
3.20. Теоретический расчет составов высокоэнтропийных сплавов.....	98
3.20.1. Расчет методом DFT	99
3.20.2. Машинное обучение.....	103
3.21. Каталитические реакции.....	104
3.22. Синтез прекурсоров высокоэнтропийных сплавов в водном растворе	117
4. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА	
ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ	125
4.1. Механические свойства.....	125
4.2. Высокотемпературное применение высокоэнтропийных сплавов.....	138
4.2.1. Стойкость высокоэнтропийных сплавов к окислению.....	138
4.2.2. Стойкость высокоэнтропийных сплавов к горячей коррозии	140
4.2.3. Микроструктурная стабильность материалов	141
4.2.4. Механические свойства при высокой температуре.....	142
4.2.5. Тугоплавкие высокоэнтропийные сплавы	145
4.2.6. Эвтектические высокоэнтропийные сплавы	149
4.2.7. Высокоэнтропийные суперсплавы	150
4.3. Магнитные свойства.....	154
4.4. Электрические свойства.....	156

4.5. Теплопроводность сплавов.....	156
4.6. Коррозионные свойства.....	157
4.7. Тонкие пленки высокоэнтروпийных сплавов.....	158
4.8. Волокна высокоэнтропийных сплавов	160
4.9. Высокоэнтропийные металлические стекла	162
4.10. Электродокатализаторы.....	162
4.10.1. Фундаментальные концепции и стратегии разработки катализаторов.....	165
4.10.2. Синтез и стабильность фаз сложных по составу твердых растворов	167
4.10.3. Корреляция свойств «структура – активность».....	168
4.10.4. Избирательность и многофункциональность.....	171
4.10.5. Будущие задачи.....	174
4.11. Новые функциональные свойства	175
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	176
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	181