

Конструкционные и функциональные материалы ядерных энергетических установок

*Допущено
Министерством образования
Республики Беларусь
в качестве учебного пособия
для студентов
учреждений высшего образования
по специальности
«Ядерные физика и технологии»*



Минск
«Вышэйшая школа»
2021

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	5
1. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	7
1.1. Типы атомных реакторов	7
1.2. Эксплуатационные условия и требования к конструкционным материалам ядерных энергетических установок	12
1.3. Цирконий и его сплавы	15
1.3.1. Текстура и ползучесть изделий из циркония и его сплавов	19
1.3.2. Влияние легирования на структуру, механические свойства и жаропрочность циркония	21
1.3.3. Коррозионная стойкость циркония и его сплавов	39
1.3.3.1. Взаимодействие циркония с кислородом	42
1.3.3.2. Коррозия циркония на воздухе, в воде и паре	43
1.3.3.3. Влияние примесей и легирующих элементов на коррозионную стойкость циркония	47
1.3.3.4. Влияние структурно-фазового состояния на коррозию циркониевых сплавов	54
1.3.3.5. Влияние внешних факторов на коррозию циркониевых сплавов	57
1.3.4. Взаимодействие циркония и его сплавов с водородом	59
1.3.5. Коррозионное растрескивание под напряжением	67
1.3.6. Радиационная стойкость циркония и его сплавов	69
1.3.6.1. Радиационное упрочнение и охрупчивание	70
1.3.6.2. Радиационное формоизменение	71
1.3.7. Перспективы разработки толерантного ядерного топлива с циркониевой оболочкой применительно к условиям аварии типа <i>LOCA</i>	83
1.3.7.1. Характеристика стадий протекания аварии <i>LOCA</i>	84
1.3.7.2. Методы создания оболочек ТВЭЛов для толерантного топлива с использованием нанесения покрытий	88
1.4. Низколегированные стали перлитного класса (корпусные стали водо-водяного энергетического реактора)	93
1.4.1. Маркировка легированных конструкционных сталей	94
1.4.2. Химический состав и структура перлитных сталей	96
1.4.3. Термическая обработка перлитных сталей	104
1.4.4. Коррозионная стойкость перлитных сталей	106
1.4.5. Взаимодействие перлитных реакторных сталей с водородом	108

1.4.6.	Радиационная стойкость перлитных сталей	110
1.4.7.	Восстановление свойств облученных корпусных сталей.	120
1.5.	Жаропрочные коррозионно-стойкие стали аустенитного класса	122
1.5.1.	Сплавы систем Fe—Cr—Ni и Fe—Cr—Mn	123
1.5.2.	Влияние легирования на структуру и свойства аустенитных сталей	125
1.5.3.	Коррозионная стойкость аустенитных сталей	130
1.5.3.1.	Коррозионная стойкость в воде и паре	130
1.5.3.2.	Межкристаллитная коррозия	132
1.5.3.3.	Коррозионное растрескивание под напряжением	136
1.5.3.4.	Коррозионная стойкость в жидкометаллических теплоносителях.	140
1.5.3.5.	Коррозионная стойкость при взаимодействии с продуктами деления ядерного топлива	142
1.5.4.	Радиационная стойкость аустенитных сталей	143
1.5.4.1.	Радиационное упрочнение и охрупчивание	143
1.5.4.2.	Радиационное распухание	146
1.6.	Коррозионно-стойкие хромистые стали	149
1.6.1.	Сплавы системы Fe—Cr	150
1.6.2.	Влияние легирования на структуру и свойства хромистых сталей	151
1.6.3.	Коррозионная стойкость хромистых сталей	159
1.6.4.	Радиационная стойкость хромистых сталей	163
1.6.4.1.	Изменение механических свойств хромистых сталей под облучением	164
1.6.4.2.	Радиационное распухание хромистых сталей	166
	<i>Контрольные вопросы и задания</i>	168

2. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК 173

2.1.	Материалы с малым сечением захвата тепловых нейтронов.	173
2.1.1.	Алюминий и его сплавы.	173
2.1.2.	Цирконий и его сплавы	176
2.1.3.	Магний и его сплавы	177
2.1.4.	Бериллий и его сплавы	179
2.2.	Материалы органов регулирования работы и защиты ядерного реактора	180
2.2.1.	Материалы регулирующих стержней	183
2.2.2.	Перспективные материалы органов регулирования	186
2.2.3.	Выгорающие поглотители	189
2.3.	Материалы — замедлители нейтронов	192
2.4.	Материалы — отражатели нейтронов	198

2.5. Материалы защиты от излучения	198
2.6. Ядерные топливные материалы	200
2.6.1. Металлическое ядерное топливо	205
2.6.1.1. Металлический уран	206
2.6.1.2. Сплавы урана	210
2.6.1.3. Плутоний	212
2.6.1.4. Сплавы плутония	213
2.6.2. Керамическое ядерное топливо	214
2.6.2.1. Диоксид урана	216
2.6.2.2. Карбид урана	222
2.6.2.3. Нитрид урана	226
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	231
ЛИТЕРАТУРА	234