

УДК 620.17+621.3.082  
Ш655

Рецензенты:

д-р физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. ИТ СО РАН *А. Б. Мешалкин*  
д-р техн. наук, профессор *А. И. Алиферов*

Работа подготовлена на кафедре  
автоматизированных электротехнологических установок

**Шишкин А. В.**

Ш655      Исследование физических свойств материалов в электро-  
технике и электротехнологии. Теоретические сведения о физи-  
ческих свойствах материалов : учебное пособие / А. В. Шишкин,  
О. С. Дутова. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2023. – 176 с.

ISBN 978-5-7782-5019-2

В учебном пособии приведены теоретические сведения о механи-  
ческих, электрических, магнитных и тепловых свойствах материалов.  
Рассмотрены конструкционные, проводниковые, полупроводниковые,  
диэлектрические, магнитные, огнеупорные и теплоизоляционные ма-  
териалы как компоненты электротехнического и электротехнологиче-  
ского оборудования.

Учебное пособие предназначено для подготовки бакалавров по на-  
правлениям 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», 15.03.04  
«Автоматизация технологических процессов и производств».

УДК 620.17+621.3.082

ISBN 978-5-7782-5019-2

© Шишкин А. В., Дутова О. С., 2023  
© Новосибирский государственный  
технический университет, 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	8
<b>Глава 1. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ .....</b>	<b>9</b>
1.1. Конструкционная прочность.....	9
1.2. Теоретические основы механических испытаний твёрдых тел.....	13
1.2.1 Деформации и напряжения .....	13
1.2.2. Упругая деформация.....	16
1.2.3. Пластическая деформация .....	18
1.2.4. Разрушение твёрдого тела.....	22
1.3. Испытания на растяжение .....	24
1.3.1. Испытания металлов на растяжение .....	25
1.3.1.1. Типы металлических образцов .....	25
1.3.1.2. Характеристики, определяемые при испытаниях на растяжение .....	28
1.3.1.3. Испытание на растяжение металлической проволоки.....	30
1.3.1.4. Испытание на растяжение тонких металлических листов и лент.....	32
1.3.2. Испытания пластмасс на растяжение .....	33
1.3.3. Испытание на растяжение полимерных пленок.....	36
1.3.4. Испытания резины на растяжение.....	37
<b>Глава 2. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ.....</b>	<b>39</b>
2.1. Заполнение энергетических зон электронами.....	39
2.2. Электропроводность проводников.....	42
2.2.1. Влияние твёрдого раствора на электросопротивление металлического сплава .....	45

2.2.2. Влияние наклёпа на электросопротивление металлов .....	48
2.2.3. Влияние химических соединений на электросопротивление металлов.....	49
2.2.4. Электросопротивление гетерогенных металлических сплавов .....	49
2.3. Термоэлектрические явления.....	50
2.4. Электропроводность полупроводников и диэлектриков.....	53
2.4.1. Электропроводность в полупроводниках .....	53
2.4.1.1. Собственная проводимость.....	53
2.4.1.2. Примесная проводимость.....	55
2.4.2. Электропроводность твёрдых диэлектриков.....	59
2.4.3. Зависимость электропроводности диэлектриков от различных факторов.....	61
2.4.4. Поляризация диэлектриков .....	63
2.4.4.1. Электронная упругая поляризация.....	67
2.4.4.2. Ионная упругая поляризация .....	68
2.4.4.3. Дипольная упругая поляризация .....	69
2.4.4.4. Ионная тепловая поляризация .....	70
2.4.4.5. Дипольная тепловая поляризация .....	71
2.4.4.6. Электронная тепловая поляризация .....	72
2.4.4.7. Связь между диэлектрической проницаемостью и поляризацией.....	73
2.4.5. Диэлектрические потери .....	75
2.4.6. Пробой твёрдых диэлектриков .....	78
2.4.7. Пробой газов.....	81
2.4.8. Пробой жидких диэлектриков .....	82
<b>Глава 3. ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА ТВЁРДЫХ МАТЕРИАЛОВ .....</b>	<b>84</b>
3.1. Теплоёмкость.....	85
3.1.1. Основные определения.....	85
3.1.2. Температурная зависимость теплоёмкости .....	86
3.2. Нагрев твёрдого тела .....	91
3.2.1. Перенос тепла.....	91
3.2.2. Тепловое расширение твёрдого тела.....	92

3.2.2.1. Влияние температуры на систему упруго колеблющихся атомов.....	92
3.2.2.2. Тепловое расширение реальных тел.....	94
3.3. Теплопроводность в твёрдых телах.....	98
3.3.1. Теплопроводность в диэлектриках.....	98
3.3.2. Теплопроводность в металлах .....	102
3.3.3. Влияние структуры и химического состава на теплопроводность в металлах .....	104
3.4. Нагревостойкость.....	106
3.5. Термические напряжения .....	108
<b>Глава 4. МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ .....</b>	<b>110</b>
4.1. Основные определения и зависимости .....	110
4.1.1. Магнитная проницаемость и магнитный момент .....	110
4.1.2. Намагниченность и магнитная восприимчивость.....	112
4.1.3. Ферромагнетики.....	114
4.1.4. Ферримагнетики.....	115
4.2. Свойства ферромагнитных материалов .....	116
4.2.1. Анизотропия магнитных свойств .....	116
4.2.2. Ферромагнитные домены .....	117
4.2.3. Магнитный гистерезис .....	119
4.2.4. Магнитная вязкость и вихревые токи .....	123
4.2.5. Влияние различных факторов на магнитные свойства.....	124
<b>Глава 5. МАТЕРИАЛЫ КАК КОМПОНЕНТЫ ОБОРУДОВАНИЯ .....</b>	<b>126</b>
5.1. Конструкционные металлические материалы.....	127
5.1.1. Сплавы на основе железа .....	127
5.1.1.1. Классификация сталей.....	127
5.1.1.2. Углеродистая сталь .....	128
5.1.1.3. Легированная сталь.....	129
5.1.1.4. Чугуны .....	131
5.1.2. Сплавы на основе алюминия.....	131
5.1.3. Сплавы на основе меди.....	132

5.2. Проводниковые материалы.....	134
5.2.1. Материалы высокой проводимости.....	134
5.2.1.1. Медь и её сплавы .....	135
5.2.1.2. Алюминий и его сплавы.....	136
5.2.1.3. Углеродистые материалы.....	137
5.2.2. Контактные материалы.....	138
5.2.3. Припои и контактолы .....	139
5.2.4. Резистивные материалы .....	140
5.2.4.1. Медно-никелевые сплавы.....	141
5.2.4.2. Резистивные материалы на основе кремния.....	142
5.2.5. Материалы для нагревательных элементов.....	142
5.2.5.1. Металлические сплавы .....	142
5.2.5.2. Неметаллические материалы .....	143
5.2.6. Термоэлектродные материалы.....	144
5.3. Полупроводниковые и диэлектрические материалы.....	145
5.3.1. Классификация и основные параметры полупроводников .....	145
5.3.2. Элементарные полупроводники .....	147
5.3.3. Полупроводниковые соединения.....	148
5.3.3.1. Карбид кремния.....	148
5.3.3.2. Соединения $A^{III}B^V$ .....	149
5.3.3.3. Соединения $A^{II}B^{VI}$ .....	151
5.3.3.4. Соединения $A^{IV}B^{VI}$ .....	152
5.3.4. Диэлектрические материалы.....	153
5.3.4.1. Классификация диэлектриков.....	154
5.3.4.2. Краткие сведения о некоторых твёрдых электроизоляционных диэлектрических материалах .....	155
5.4. Магнитомягкие материалы .....	159
5.4.1. Материалы для работы в широком диапазоне изменения магнитной индукции.....	160
5.4.2. Материалы для работы в слабых полях .....	161
5.4.3. Материалы с прямоугольной петлей гистерезиса.....	162
5.4.4. Материалы для магнитопроводов релейных и импульсных устройств .....	163

5.4.5. Магнитомягкие материалы и их маркировка .....	165
5.4.5.1. Чистое железо.....	165
5.4.5.2. Сталь электротехническая нелегированная.....	165
5.4.5.3. Сталь электротехническая кремнистая .....	166
5.4.5.4. Магнитомягкие сплавы.....	167
5.4.5.5. Ферриты.....	168
5.4.5.6. Магнитодиэлектрики .....	170
5.5. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы .....	171
5.5.1. Огнеупорные материалы .....	171
5.5.2. Теплоизоляционные материалы .....	174
Библиографический список .....	175