

Михайлин Ю.А.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ИЗДАТЕЛЬСТВО



НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ и ТЕХНОЛОГИИ

Санкт-Петербург, 2009

УДК 66.022
ББК 35.719
М49

М69 Михайлин Ю.А. **Специальные полимерные композиционные материалы.** — СПб.: Научные основы и технологии, 2008. — 660 стр., ил.

ISBN 978-5-91703-011-1

В книге приведена информация о принципах создания, составах, структуре, свойствах, ассортименте некоторых типов полимерных композиционных материалов (ПКМ) функционального (специального) назначения: интеллектуальных ПКМ, радиоэкранирующих и радиопоглощающих ПКМ (магнитодиэлектрических, токопроводящих материалов технологии *Stealth*), полимерных материалов для защиты от высокоскоростного инденторного воздействия (броневые материалы и конструкции), теплозащитных (абляционных) полимерных материалах, полимерных наноматериалах.

Книга адресована специалистам полимерных предприятий: материаловедом, технологам, конструкторам, исследователям, связанным с разработкой, совершенствованием и переработкой полимерных материалов специального назначения.

УДК 66.022
ББК 35.719

Издание осуществлено при поддержке
ООО «Пластинфо.ру»



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-5-91703-011-1

© Михайлин Ю.А. 2009
© Изд-во «Научные основы и технологии», 2009

Содержание

Введение	11
1. Интеллектуальные полимерные материалы (ИПМ)	19
1.1. Принципы создания и типы ИПМ	21
1.2. Материалы и технологии изготовления микрокомпонентов ИПМ	23
1.2.1. Материалы и технологии микросенсорики	24
1.2.2. Материалы и технологии волоконной оптики	34
1.2.3. Материалы и технологии микроэлектроники и микропроцессорной техники	46
1.2.4. Материалы и технологии микромеханики	49
1.2.4.1. Актюаторы с использованием металлов с «памятью» формы	51
1.2.4.2. Актюаторы на основе пьезокерамики	53
1.2.4.3. Технологии изготовления изделий микромеханики	55
1.3. Материалы и технологии изготовления компонентов ИПМ молекулярного уровня (нанокомпонентов ИПМ)	61
1.3.1. Полимеры для производства нанокомпонентов ИПМ	61
1.3.1.1. Электропроводящие полимеры с «внутренней» (собственной) электропроводимостью	61
1.3.1.2. Пьезоэлектрические (электроактивные) полимеры	85
1.3.1.3. Жидкокристаллические полимеры	94
1.3.1.4. Дендримеры	111
1.4. Тенденции развития и совершенствования компонентов ИПМ и технологий их производства	113
Нанoeлектроника	119
Наносенсорика	142
Наномеханика	142
Нанобионика	143
1.5. Интеллектуальные полимерные композиционные материалы (ИПКМ)	144
1.6. Применение компонентов ИМ	151
Литература	161
2. Радиоэкранирующие и радиопоглощающие полимерные материалы	167
2.1. Теоретические представления о принципах создания магнитодиэлектрических и токопроводящих (экранирующих и поглощающих электромагнитную энергию) полимерных материалов	168
2.1.1. Характеристики электромагнитного поля	168

2.1.2. Поведение материалов в электрическом поле	170
Электрическая прочность ($E_{\text{пр}}$)	173
Удельное объемное электрическое сопротивление (ρ_v)	174
Удельное поверхностное электрическое сопротивление (ρ_s)	174
Диэлектрическая проницаемость (ϵ)	174
Тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg } \delta_\epsilon$)	176
2.1.3. Поведение материалов в магнитном поле	178
2.1.4. Электрофизические параметры, обеспечивающие экранирующие и поглощающие свойства материалам, взаимодействующим с электромагнитной энергией радиодиапазона	187
2.1.4.1. Магнитодиэлектрики	191
2.1.4.2. Типы экранирующих и поглощающих электромагнитную энергию материалов. Узкодиапазонные и широкодиапазонные магнитодиэлектрики	193
2.2. Компоненты и составы материалов, экранирующих и поглощающих электромагнитную энергию	201
2.2.1. Полимеры и полимерные материалы	202
2.2.1.1. Физическое состояние и диэлектрические свойства полимеров	202
2.2.1.2. Зависимость диэлектрических свойств от строения полимеров	203
2.2.1.3. Зависимость диэлектрических свойств от внешних факторов	208
2.2.1.4. Диэлектрические свойства полимерных связующих и пластиков, используемых в качестве компонентов магнитодиэлектриков	209
2.2.2. Электропроводящие полимеры	241
2.2.3. Углеродные материалы	242
2.2.3.1. Углеродные и графитизированные волокна (УВ)	243
2.2.3.2. Сажи	244
2.2.3.3. Углеволоконистые материалы	250
2.2.4. Материалы с особыми магнитными свойствами	260
2.2.4.1. Низкочастотные магнитомягкие материалы	262
2.2.4.2. Высокочастотные магнитомягкие материалы. Ферриты	276
2.2.5. Аморфные металлы (металлические стекла)	290
2.3. Радиоэкранирующие материалы, покрытия и конструкции	303
2.4. Радиопоглощающие материалы, покрытия и конструкции	321
2.4.1. Радиоэкранирующие радиопоглощающие материалы, покрытия и конструкции	322
2.4.2. Материалы для создания радиопоглощающих элементов в волноводах и коаксиальных линиях	333
2.4.3. Радиопоглощающие материалы, покрытия и конструкции безэховых камер	336
2.4.4. Принципы и способы уменьшения радиолокационной заметности (УРЗ) объектов. Технология <i>Stealth</i>	357
2.4.4.1. Характеристики радиолокационных систем	358
2.4.4.2. Эффективная поверхность рассеяния (ЭПР, $\sigma_{\text{ц}}$)	365
2.4.4.3. Концепции технологии <i>Stealth</i> . Методы снижения радиолокационной заметности (РЛЗ)	371

2.4.4.4. Материалы, покрытия и конструкции, уменьшающие радиолокационную заметность (УРЗ) объектов	382
Литература	441
3. Полимерные материалы для защиты от высокоскоростного инденторного воздействия (броневые материалы и конструкции)	447
3.1. Критерии оценки защитных свойств материалов при высокоскоростном динамическом нагружении	447
3.2. Полимерные текстильные (тканые) броневые материалы	450
3.3. Полимерные композиционные броневые материалы	456
3.3.1. Броневые материалы на основе ВПКМ с полиарамидными волокнами	457
3.3.2. Броневые материалы на основе ВПКМ с волокнами из СВМПЭ	458
3.4. Комбинированные (супергибридные) полимер-металлические и полимер-керамические броневые материалы и конструкции	462
3.4.1. Полимер-металлическая броня	463
3.4.2. Полимер-керамическая броня	465
Литература	471
4. Сотовые материалы и конструкции	473
4.1. Механические свойства сотовых конструкций	477
4.2. Материалы сотовых конструкций	481
4.2.1. Материалы, используемые в качестве оболочек сотовых конструкций	482
4.2.2. Материалы для заполнителей сотовых конструкций	484
4.3. Технология изготовления сотовых заполнителей	485
4.3.1. Сотовые заполнители из металлической фольги	485
4.3.2. Сотопласты	485
4.3.3. Сотовые материалы и конструкции с заполнителями на основе бумаги из ароматических полиамидов (ПСП, <i>Nomex</i>)	492
4.3.3.1. Полимерная бумага (фенилоновая, БФСК, <i>Nomex</i>)	492
4.3.3.2. Сотопласты ПСП, <i>Nomex</i>	499
4.4. Технология изготовления сотовых конструкций (СК)	501
4.5. Эксплуатационные свойства сотовых заполнителей и конструкций (панелей) с сотовыми заполнителями	506
4.5.1. Сотовые заполнители	507
Металлические соты	509
Стеклосотопласты	509
Углеродные соты	512
Полимерные сотопласты (ПСП, <i>Nomex</i>)	512
4.5.2. Сотовые панели	523
4.6. Применение сотовых материалов в современной технике	526
Литература	540
5. Теплозащитные полимерные материалы (ТЗМ)	545
5.1. Условия эксплуатации «горячих» конструкций	546
5.2. Системы и способы тепловой защиты	556

5.3. Абляция. Критерии эффективности абляционных ТЗМ	571
5.4. Типы полимерных абляционных теплозащитных материалов	583
5.4.1. Сублимирующиеся ТЗМ	584
5.4.1.1. Низкотемпературные низкоэнтальпийные сублимирующиеся полимерные ТЗМ	584
5.4.1.2. Высокотемпературные высокоэнтальпийные сублимирующиеся ТЗМ	587
5.4.2. Теплозащитные материалы, аблирующие через стадию плавления	595
5.4.3. Теплозащитные материалы, аблирующие по смешанному механизму	597
5.5. Взаимосвязь состава и структуры ТЗМ с их абляционными свойствами	615
5.6. Применение ТЗМ	625
Литература	628
Приложение 1. Характеристики пьезокерамических материалов	631
Литература	633
Приложение 2. Магнитодиэлектрики (дефиниции)	634
Литература	637
3.1. Методика определения удельного объемного электрического сопротивления полимеров	638
Образцы для испытаний	638
Приложение 3. Методики определения диэлектрических свойств	638
Испытательная аппаратура	639
Проведение эксперимента	640
Обработка результатов	640
3.2. Методика определения тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости при частотах от 50 до 10^8 Гц	640
Образцы для испытаний	640
Испытательная аппаратура	641
Проведение эксперимента	641
3.3. Определение диэлектрической проницаемости ϵ , тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta_\epsilon$ и проводимости γ методом волноводных линий	642
3.4. Определение ϵ' , ϵ'' и γ методом «тонкого стержня»	644
3.5. Измерение контактных сопротивлений в системе электропроводный полимерный материал–металл	645
4.1. Магнитная проницаемость (μ , баллистический метод)	647
Приложение 4. Методики определения магнитных свойств	647
4.2. Магнитная восприимчивость (метод магнитных весов)	648
4.3. Индукция насыщения. Метод вибрационного магнитометра	649
4.4. Комплексная магнитная проницаемость в переменном магнитном поле (метод одного витка)	650
Литература	651
5.1. Коэффициент отражения R магнитодиэлектриков	652
5.1.1. Метод замещения в свободном пространстве	652

Приложение 5. Радиотехнические характеристики магнитодиэлектриков	652
5.1.2. Метод замещения в волноводных линиях	653
5.2. Экспериментальное исследование ЭПР целей ($\sigma_{ц}$)	654
Система с непрерывным излучением	655
Импульсная система	656
Доплеровские измерительные системы	657