

А.П. ПЕТРОВА, Г.В. МАЛЫШЕВА



**КЛЕИ, КЛЕЕВЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ  
И КЛЕЕВЫЕ ПРЕПРЕГИ**  
УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**А.П. Петрова, Г.В. Малышева**

**КЛЕИ,  
КЛЕЕВЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ  
И КЛЕЕВЫЕ ПРЕПРЕГИ**

Под общей редакцией  
академика РАН, профессора Е.Н. Каблова

Рекомендовано Федеральным Учебно-методическим объединением  
по укрупненной группе специальностей и направлений  
22.00.00 «Технология материалов» в качестве учебного пособия  
при подготовке бакалавров и магистров, обучающихся по направлению  
22.03.01/22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»

МОСКВА  
ВИАМ  
2017

УДК 665.939.5

ББК 35.75

П29

Рецензенты: директор Института химической физики РАН, академик РАН *А.А. Берлин*; профессор Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева, доктор химических наук *И.Ю. Горбунова*

**Петрова А.П., Малышева Г.В.**

П29 Клеи, клеевые связующие и клеевые препреги: учебное пособие / под общ. ред. Е.Н. Каблова. – М.: ВИАМ, 2017. – 472 с. : ил.

ISBN 978-5-905217-16-6

В учебном пособии рассмотрены основные типы современных клеев, клеевых связующих и клеевых препрегов, приведены их технологические, физико-механические, теплофизические и другие свойства, изложены основные принципы направленного регулирования свойств и подбора компонентов. Рассмотрены вопросы технологии склеивания, методы испытаний и исследований свойств клеев и клеевых соединений. Отдельная глава посвящена проблеме прогнозирования ресурса клеевых соединений. Подробно рассмотрены области применения клеев и материалов на их основе в авиационной промышленности при изготовлении и ремонте техники. Отличительной особенностью учебного пособия является его практическая направленность.

Издание может быть использовано студентами в качестве учебного пособия при подготовке курсовых проектов и выпускных квалификационных работ по специальности «Материаловедение и технологии материалов», а также предназначено для специалистов, работающих в области создания и применения клеев в различных отраслях.

УДК 665.939.5

ББК 35.75

ISBN 978-5-905217-16-6

© ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, 2017

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	7
<b>Введение</b> .....	13
<b>Глава 1. Теоретические основы склеивания</b> .....	18
1.1. Основные определения .....	18
1.2. Преимущества и недостатки клеевых соединений .....	22
1.3. Гипотезы адгезионного взаимодействия .....	24
1.4. Поверхностная энергия .....	32
1.5. Смачивание .....	37
<b>Литература</b> .....	40
<b>Вопросы к главе</b> .....	41
<b>Глава 2. Основные компоненты клеев и клеевых связующих</b> .....	42
2.1. Основа клеев .....	42
2.2. Отвердители .....	44
2.3. Ускорители, ингибиторы и замедлители отверждения .....	46
2.4. Наполнители .....	46
2.5. Загустители и разбавители .....	57
2.6. Промоторы адгезии .....	64
2.7. Стабилизаторы .....	67
2.8. Тиксотропные добавки .....	67
2.9. Бицидные добавки .....	68
2.10. Поверхностно-активные вещества .....	69
2.11. Порообразователи .....	69
2.12. Антипирены .....	70
2.13. Вещества, повышающие липкость клеев .....	76
2.14. Пластификаторы .....	78
2.15. Растворители .....	79
<b>Литература</b> .....	81
<b>Вопросы к главе</b> .....	83

<b>Глава 3. Типы клеев</b> . . . . .	85
3.1. Акриловые клеи . . . . .	85
3.1.1. Анаэробные клеи . . . . .	85
3.1.2. Цианакрилатные клеи . . . . .	101
3.1.3. Акриловые клеи, отверждающиеся под воздействием УФ облучения . . . . .	104
3.2. Клеи на основе канифоли . . . . .	106
3.3. Клеи на основе каучуков (резиновые клеи) . . . . .	106
3.3.1. Клеи на основе натурального каучука . . . . .	113
3.3.2. Клеи на основе хлоропреновых каучуков . . . . .	114
3.3.3. Клеи на основе бутадиен-нитрильных каучуков . . . . .	116
3.3.4. Клеи на основе термоэластопластов . . . . .	116
3.3.5. Клеи на основе фторкаучуков . . . . .	117
3.3.6. Клеи на основе кремнийорганических каучуков . . . . .	118
3.4. Клеи на основе карбамидоальдегидных олигомеров . . . . .	118
3.5. Клеи на основе латексов . . . . .	119
3.6. Клеи на основе поливинилхлорида . . . . .	123
3.7. Клеи на основе поливинилацетата и его сополимеров . . . . .	126
3.8. Клеи на основе поливинилового спирта и его производных . . . . .	128
3.9. Клеи на основе фенолформальдегидных олигомеров . . . . .	130
3.10. Клеи на основе элементоорганических соединений . . . . .	140
3.11. Клеи-расплавы . . . . .	147
3.12. Неорганические клеи . . . . .	158
3.12.1. Металлические клеи . . . . .	158
3.12.2. Фосфатные клеи-цементы . . . . .	160
3.12.3. Клеи на основе силиката натрия . . . . .	163
3.13. Полиароматические клеи . . . . .	164
3.14. Полиуретановые клеи . . . . .	166
3.15. Полиэфирные клеи . . . . .	173
3.16. Эпоксидные клеи . . . . .	174
3.17. Клеи на основе тирана . . . . .	188
3.18. Оптические клеи . . . . .	190
3.19. Пленочные клеи . . . . .	196
3.20. Клеевые связующие . . . . .	212
3.21. Клеевые препреги . . . . .	218
3.22. Клеевые материалы, обладающие липкостью . . . . .	243
<b>Литература</b> . . . . .	255
<b>Вопросы к главе</b> . . . . .	262

<b>Глава 4. Технология склеивания</b> . . . . .	264
4.1. Подготовка поверхности . . . . .	264
4.1.1. Очистка и обезжиривание . . . . .	266
4.1.2. Химические и электрохимические способы подготовки поверхностей. . . . .	273
4.1.3. Физико-химические способы подготовки поверхностей. . . . .	281
4.1.4. Подготовка поверхностей трудно склеиваемых материалов. . . . .	283
4.1.5. Подготовка поверхности резины. . . . .	285
4.1.6. Защитные удаляемые слои. . . . .	288
4.2. Приготовление и нанесение клея . . . . .	288
4.3. Сборка . . . . .	294
4.4. Отверждение. . . . .	295
4.5. Контроль качества . . . . .	297
<b>Литература</b> . . . . .	301
<b>Вопросы к главе</b> . . . . .	302
<b>Глава 5. Методы испытаний и исследований свойств клеев и клеевых соединений</b> . . . . .	303
5.1. Международные и отечественные стандарты по методам испытаний. . . . .	303
5.2. Условия проведения испытаний. . . . .	315
5.3. Испытания на сдвиг . . . . .	318
5.4. Испытания на отрыв . . . . .	323
5.5. Испытания на отслаивание и расслаивание . . . . .	328
5.6. Методы определения трещиностойкости . . . . .	330
5.7. Определение усталостной прочности . . . . .	339
5.8. Напряженно-деформированное состояние . . . . .	344
5.9. Стойкость к действию климатических факторов . . . . .	345
5.10. Деформационные свойства. . . . .	352
5.11. Теплофизические и электрические свойства. . . . .	354
5.12. Методы определения технологических характеристик. . . . .	360
<b>Литература</b> . . . . .	370
<b>Вопросы к главе</b> . . . . .	372

<b>Глава 6. Прогнозирование ресурса клеевых соединений</b> . . . . .	374
6.1. Показатели надежности. . . . .	374
6.2. Модели отказов . . . . .	376
6.3. Прогнозирование ресурса на стадии проектирования . . . . .	378
6.4. Прогнозирование остаточного ресурса . . . . .	384
<b>Литература</b> . . . . .	388
<b>Вопросы к главе</b> . . . . .	388
<b>Глава 7. Применение клеев.</b> . . . . .	390
7.1. Склеивание металлов. . . . .	391
7.2. Клеи для крепления тензорезисторов . . . . .	398
7.3. Клеи для приборостроения . . . . .	400
7.4. Склеивание резин. . . . .	403
7.5. Склеивание керамики, теплоизоляционных и теплозащитных материалов. . . . .	406
7.6. Склеивание сотовых заполнителей с обшивками из стекло- и углепластиков . . . . .	410
7.7. Изготовление трехслойных сотовых конструкций с применением клеевых препрегов. . . . .	420
7.8. Изготовление многослойных конструкций. . . . .	421
7.9. Слоистые металлополимерные композиционные материалы . . . . .	425
7.10. Клеи для клеємеханических соединений. . . . .	426
7.11. Герметизация, стопорение и фиксация резьбовых соединений. . . . .	431
7.12. Клеи для проведения ремонтных работ. . . . .	436
<b>Литература</b> . . . . .	452
<b>Вопросы к главе</b> . . . . .	455
<b>Приложение. Гигиенические нормативы, техника безопасности и экология</b> . . . . .	457