

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	9
--------------------------	---

Глава 1

ВВЕДЕНИЕ	12
-----------------------	----

1.1. Масштабные уровни структуры	14
1.2. История разработки композитов	17
1.3. Свойства волокон	18
1.4. Доля волокон	20
1.5. Преимущества композитов	22
<i>Список литературы</i>	24

Глава 2

РАЗРУШЕНИЕ	25
-------------------------	----

2.1. Что такое разрушение	25
2.2. Механизмы разрушения	28
2.2.1. Хрупкое разрушение	29
2.2.2. Пластическое разрушение	29
2.2.3. Квазихрупкое разрушение	33
2.2.4. Крэйзы	33
2.3. Механические характеристики	35
2.3.1. Виды разрушения	36
2.4. Теория хрупкого разрушения Гриффитса—Орована	36
2.4.1. Теоретическая прочность	36
2.5. Концентрация напряжений	41
2.5.1. Теория Гриффитса	42
2.5.2. Теория Орована	44
2.5.3. Методы измерения вязкости разрушения	46
2.5.4. Метод податливости	46
2.5.5. Сильный изгиб консолей	49
2.5.6. Плосконапряженное состояние и плоская деформация	51



2.5.7. Размер зоны пластичности	53
2.5.8. Температура и скорость нагружения	56
2.6. Вязкость разрушения волокнистого композита	56
2.7. Поперечное разрушение	58
2.7.1. Энергия упругой деформации волокна	59
2.7.2. Отслоение волокон	59
2.7.3. Извлечение волокон	59
2.7.4. Адгезионное разрушение	61
2.7.5. Слой адгезива	63
Список литературы	65

Глава 3

ВОЛОКНИСТЫЕ КОМПОЗИТЫ	67
3.1. Продольный модуль упругости	67
3.2. Поперечный модуль упругости	68
3.3. Модуль сдвига	70
3.4. Влияние температуры	71
3.5. Коэффициент Пуассона	72
3.6. Прочность	73
3.6.1. Поперечное растяжение	73
3.6.2. Пластичная матрица	74
3.6.2.1. Регулярная решетка волокон	74
3.6.2.2. Случайно распределенные волокна	75
3.7. Внутрислойовый сдвиг	77
3.8. Продольное растяжение	79
3.8.1. Растяжение под углом к оси волокон	80
3.9. Осевое растяжение	84
3.9.1. $\epsilon_f > \epsilon_m$	84
3.9.2. $\epsilon_f < \epsilon_m$	86
3.10. Растрескивание	90
3.10.1. Истощение несущей способности волокон	91
3.11. Теория Розена	94
3.12. Неэффективная длина волокна	97
3.13. Малые степени армирования	100
3.13.1. Пластичная матрица	101
3.13.2. Прочность пучка волокон	101
3.13.2.1. Средняя прочность волокон	101
3.13.3. Размотка	101
3.13.4. Отслоение разрушенного волокна	101



3.13.5. Растрескивание вблизи отверстия	109
3.13.6. Коэффициент реализации прочности волокон	113
3.14. Влияние температуры	114
Список литературы	115

Глава 4

РАЗРУШЕНИЕ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ СЖАТИИ	118
4.1. Потеря устойчивости волокон	119
4.2. Исчерпание несущей способности волокон	123
4.2.1. Разрушение органопластика при повышенной температуре	129
4.3. Разрушение стеклопластика	133
4.3.1. Крутка нити	136
4.3.2. Потеря устойчивости стеклянных волокон	137
4.4. Разрушение углепластика	139
4.4.1. Высокопрочные углеродные волокна	140
4.4.1.1. Влияние отверстия	140
4.4.1.2. Влияние пор	143
4.4.1.3. Разрушение при повышенной температуре	144
Список литературы	145

Глава 5

РАЗРУШЕНИЕ ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИТОВ	147
5.1. Предел прочности	149
5.1.1. Модель регулярной упаковки частиц	150
5.1.2. Модель композита со случайно распределенными частицами	152
5.1.3. Крупные частицы	153
5.2. Деформация при разрыве	157
5.2.1. Однородно деформирующиеся матрицы	158
5.2.2. Матрицы, деформирующиеся путем распространения шейки	159
5.3. Верхний предел текучести	160
5.4. Нижний предел текучести	161
5.4.1. Переходы механизмов разрушения	162
5.4.2. Переход к хрупкому разрушению	162
5.4.2.1. Хорошая адгезия	163
5.4.2.2. Слабая адгезия	165
5.4.2.2.1. $\sigma_{\text{с}} < \sigma_{\text{с}}$. Переход к хрупкому разрушению	165
5.4.2.2.2. $\sigma_{\text{с}} > \sigma_{\text{с}}$. Переход к однородному пластическому течению	167
Список литературы	169

Глава 6

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИТОВ С ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТЬЮ, ЖЕСТКОСТЬЮ И ВЯЗКОСТЬЮ РАЗРУШЕНИЯ	171
6.1. Влияние пространственного распределения частиц наполнителя	171
6.2. Влияние низкомолекулярных добавок	173
6.3. Полимеры, наполненные эластичными частицами	173
6.3.1. Теории упрочнения	174
6.3.2. Морфология дисперсной фазы	177
6.3.3. Эластомерные оболочки вокруг жестких частиц	178
6.3.4. Другие способы повышения ударной вязкости	179
6.3.5. Полимерные смеси	182
6.4. Гомогенизация микронеоднородных сред	183
6.4.1. Осредненное описание композитов	183
6.4.2. Уравнения для расчета эффективных характеристик	185
6.4.3. Обоснование корректности и оценка точности осредненного описания	188
6.5. Методы моделирования	194
6.5.1. Некоторые вспомогательные соотношения	194
6.5.2. Верхние и нижние оценки эффективных постоянных	196
6.5.3. Приближения в области малых и больших концентраций и некоторые точные результаты	200
6.5.4. Модели самосогласования	206
6.5.5. Приближения теории случайных функций	209
6.5.6. Вычислительные методы механики композитов	211
6.5.7. Осреднение по ориентации армирующих элементов	215
6.6. Упругие свойства неоднородных материалов упорядоченной структуры	218
6.6.1. Дисперсно-наполненные полимерные композиты и смеси	218
6.6.2. Пенопласты	222
6.6.3. Материалы, армированные волокнами	224
6.6.4. Композиты, содержащие пластинчатые включения	225
6.6.5. Влияние адгезии	229
6.7. Упругие свойства неоднородных материалов хаотической структуры	236
6.7.1. Теория перколяции	237
6.7.2. Влияние на жесткость двухфазных композитов объемного соотношения составляющих	241
6.8. Поведение композитов в области больших деформаций	247
6.8.1. Композиты упорядоченного строения	248
6.8.2. Неоднородные материалы случайной структуры	251
Список литературы	254



Глава 7

ПРОЧНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ	258
7.1. Дефекты и неоднородность структуры материала, влияющие на прочность композита	260
7.2. Прочность крученной нити	261
7.3. Концентраторы напряжений	263
7.4. Разрушение пенопластов при сжатии по механизму потери устойчивости	267
<i>Список литературы</i>	<i>270</i>

Глава 8

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ, ДИФФУЗИОННЫЕ СВОЙСТВА И ГОРЮЧЕСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ	272
8.1. Моделирование процессов тепло-, электропроводности и диффузии	272
8.2. Расчет коэффициента теплового расширения композита	277
8.3. Горючесть	278
8.3.1. Инертные наполнители	279
8.3.2. Активные наполнители (антипирены)	287
8.3.3. Микрокапсулирование антипиренов	291
<i>Список литературы</i>	<i>295</i>

Глава 9

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ, ИХ ПЕРЕРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ	297
9.1. Технология получения наполнителей	297
9.2. Методы обработки наполнителей	299
9.2.1. Аппретирование	300
9.2.2. Капсулирование наполнителя	304
9.3. Получение полимерного слоя на поверхности наполнителя методом радикальной полимеризации	305
9.3.1. Механохимическое инициирование	306
9.3.2. Радиационная прививка	307
9.3.3. Прививка на целлюлозные материалы	307
9.3.4. Закрепление активных центров на поверхности наполнителя	308
9.4. Компаундирование	312
9.4.1. Смешение в экструдере	313
9.4.2. Введение армирующих наполнителей	315
9.5. Полимеризация на поверхности наполнителей	318
9.5.1. Методы полимеризации	318



9.5.2. Молекулярная характеристика полимеризационно- наполненных композитов	322
9.5.3. Реологические и механические свойства полимеризационно- наполненных композитов, области применения	323
9.6. Полимеризация в присутствии наполнителей	328
9.7. Модификация матрицы	329
9.8. Переработка ПКМ и свойства изделий	331
9.8.1. Литье под давлением	331
9.8.2. Два подхода к решению технологических задач	333
9.8.3. Экструзия	337
9.9. Экономика ПКМ	338
9.9.1. ПКМ в производстве труб	340
9.9.2. Изделия массового потребления из ПКМ	341
9.9.3. ПКМ с улучшенными свойствами	342
9.9.4. Высокопрочные ПКМ и суперконструкционные пластики	343
Список литературы	344