

А. Н. БОБРЫШЕВ, В. Т. ЕРОФЕЕВ,
В. Н. КОЗОМАЗОВ

ФИЗИКА И СИНЕРГЕТИКА
ДИСПЕРСНО-
НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ
КОНДЕНСИРОВАННЫХ
КОМПОЗИТНЫХ СИСТЕМ



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
«НАУКА»
2012

УДК 620.1

ББК 30.36

Б72

Рецензенты: чл.-кор. РАН *Б. В. Гусев*; чл.-кор. РАН *Д. Ф. Гришин*; д-р физ.-мат. наук проф. *Р. Т. Исламов*

Бобрышев А. Н., Ерофеев В. Т., Козомазов В. Н. Физика и синергетика дисперсно-неупорядоченных конденсированных композитных систем. — СПб. : Наука, 2012. — 476 с.

ISBN 978-5-02-025495-4

ISBN 978-5-7103-2655-8

В монографии приведен анализ кластерных, решеточных и каркасных структур композитных материалов с учетом основных положений синергетики — новой научной дисциплины, связанной с изучением самоорганизующихся временных и пространственных образований в сложных неупорядоченных системах различной природы, а также гидродинамики, теплофизики и механики композитных материалов.

Предназначено для научных работников, инженеров-проектировщиков, преподавателей вузов, аспирантов и широкого круга специалистов в области материаловедения.

Bobrishev A. N., Erofeev V. T., Kozomazov V. N. Physics and Synergetics of Dispersively Disordered Condensed Composite Systems. — St. Petersburg : Nauka, 2012. — 476 p.

The monograph describes the analysis of cluster, grid, and carcass structures of composite materials with account for basic factors of self-organizing temporal and spatial formations in complex disordered systems of different nature, as well as in hydrodynamics, heat transfer, and mechanics of composite materials.

ISBN 978-5-02-025495-4
ISBN 978-5-7103-2655-8

© Бобрышев А. Н., Ерофеев В. Т.,
Козомазов В. Н., 2012

© Редакционно-издательское
оформление. Издательство
Мордовского университета, 2012
© Издательство «Наука», 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	7
Глава 1. ФРАКТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ	13
1.1. Размерность систем	13
1.2. Геометрия фракталов	16
1.3. Физика фракталов	23
1.4. Фрактальная размерность	28
Глава 2. КЛАСТЕРНЫЕ СТРУКТУРЫ	33
2.1. Кластеры и природа их образования	33
2.2. Энергетика кластеров	36
2.3. Предельные сферы и кластерообразование	41
2.4. Характеристики фрактальных кластеров	44
2.5. Вторичная бифуркация и предельно наполненные композиты	46
2.6. Структура граничного слоя	49
2.7. Пленочное состояние матрицы	53
2.8. Кластеры в структуре композитов	57
2.9. Самоорганизующиеся структуры композитов	63
Глава 3. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПРОТЕКАНИЯ	68
3.1. Конденсированные дисперсионно-наполненные системы	68
3.2. Протекание по касающимся сферам	69
3.3. Аналитическая оценка критического содержания сфер	71
3.4. Протекание по перекрывающимся сферам	76
3.5. Критический размер кластера	81
3.6. Фрактальная размерность бесконечного кластера	83
3.7. Склейкивочные соотношения	86
Глава 4. РЕШЕТОЧНЫЕ СТРУКТУРЫ	91
4.1. Образование первичного каркаса композиционных материалов	91
4.2. Решеточное приближение	98
4.3. Модельные исследования	104
4.4. Топологически выделенные зоны наполнения	107
4.5. Топология решеточной структуры композитов	110
4.6. Метод приближенной оптимизации	117
4.7. А-функция и ее анализ	122
Глава 5. КАРКАСНЫЕ СТРУКТУРЫ	126
5.1. Структурные аспекты формирования каркасных композитов	126
5.2. Гидравлические аспекты получения каркасных композитов	131
5.3. Моделирование структурных напряжений в каркасных композитах ..	142
5.4. Моделирование напряженно-деформированного состояния каркасных композитов при нагружении	147
5.5. Работа каркасных композитов при нагружении	151

5.6. Теплофизические закономерности формирования композитов каркасной структуры	161
5.7. Количественная оценка влияния структурных параметров на проницаемость каркасных композитов в химических и биологических агрессивных средах	168
Глава 6. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ КОМПОЗИТОВ	179
6.1. Адгезионное взаимодействие в композитах	179
6.2. Энергетика адгезионного взаимодействия	182
6.3. Прочностные свойства композиционных материалов	184
6.4. Влияние содержания наполнителя на прочность композитов	188
6.5. Изменение прочности композитов при наполнении	200
6.6. Влияние размера частиц наполнителя на прочность композитов	205
6.7. Влияние поверхностно-активных веществ на прочность композитов	210
6.8. Саморазогрев композитов	218
Глава 7. ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИТОВ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ	225
7.1. Экстремальные изменения прочности композитов	225
7.2. Фактор циклической тренировки	229
7.3. Плотность композитов	237
7.4. Масштабный фактор	246
7.5. Технологические субкластеры и трещинообразование	249
Глава 8. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ	252
8.1. Модуль деформации композитных материалов	252
8.2. Пластическая деформация композитов	259
8.3. Влияние пористости на физико-механические свойства композитов	262
8.4. Прогнозирование прочности композитов в зависимости от содержания наполнителя	264
8.5. Параметр порядка структуры композитов	271
8.6. Когерентная структура композитов	274
8.7. Температурная зависимость упрочнения композитов	278
8.8. Концентрационная зависимость упрочнения композитов	280
Глава 9. ЭЛЕМЕНТЫ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ	285
9.1. Прочность твердых тел	285
9.2. Линейная модель разрушения	290
9.3. Теория Гриффита	293
9.4. Теоретическая прочность материалов	296
9.5. Нелинейная модель разрушения	298
Глава 10. ТЕРМОДИНАМИКА ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ	302
10.1. Упругое деформирование	302
10.2. Термодинамика упругого деформирования	308
10.3. Разрушение в условиях жесткого нагружения	311
10.4. Разрушение в условиях мягкого нагружения	314
Глава 11. ДЛИТЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ КОМПОЗИТОВ	321
11.1. Долговечность композитов	321
11.2. Механизм разрушения	323

11.3. Кинетика разрушения композитов с начальными дефектами	328
11.4. Температурно-временная зависимость прочности композитов	330
11.5. Ориентационный фактор в явлениях разрушения	334
11.6. Направление процессов в кинетике разрушения	338
11.7. Долговечность в области высоких температур	342
11.8. Использование вариационных принципов при определении закономерностей разрушения	343
11.9. Циклическая прочность композитов	346
11.10. Анализ разброса значений долговечности	350
11.11. Атермическое разрушение композитов	356
Глава 12. ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА И КИНЕТИКА	360
12.1. Топологический анализ	360
12.2. Классические кинетические закономерности	363
12.3. Новая кинетическая модель	365
12.4. Топологические особенности кинетических процессов	367
12.5. Топология фазовых превращений	374
12.6. Особенность кинетических процессов при топологическом рассмотрении	377
12.7. Модели эволюционных процессов с линейным отображением	379
12.8. Иерархичность и автомодельность кинетических процессов	389
Глава 13. КИНЕТИКА ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ	393
13.1. Кинетика фазовых переходов в гетерогенных системах	393
13.2. Кинетика фазовых переходов в гомогенных системах	396
13.3. Кинетика изменения упругих и прочностных свойств композитов ..	397
13.4. Кинетика процесса усадки	402
13.5. Кинетика набухания композиционных материалов	404
13.6. Кинетические режимы набухания и растворения композиционных материалов	411
13.7. Влияние агрессивных сред на прочность и долговечность композитов	414
Глава 14. ДИНАМИКА И КИНЕТИКА РЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	419
14.1. Анализ реологии композитных систем с позиции концепции топологической динамики	419
14.2. Релаксация напряжений в композитах	424
14.3. Неуставновившаяся ползучесть полимерных композитов	431
14.4. Установившаяся ползучесть композитов	441
Глава 15. МЕТОД И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ	446
15.1. Метод комплексной оценки кинетических асимптотических зависимостей	446
15.2. Алгоритм расчета параметров кинетических зависимостей	450
Заключение	456
The conclusion	457
Библиографический список	463