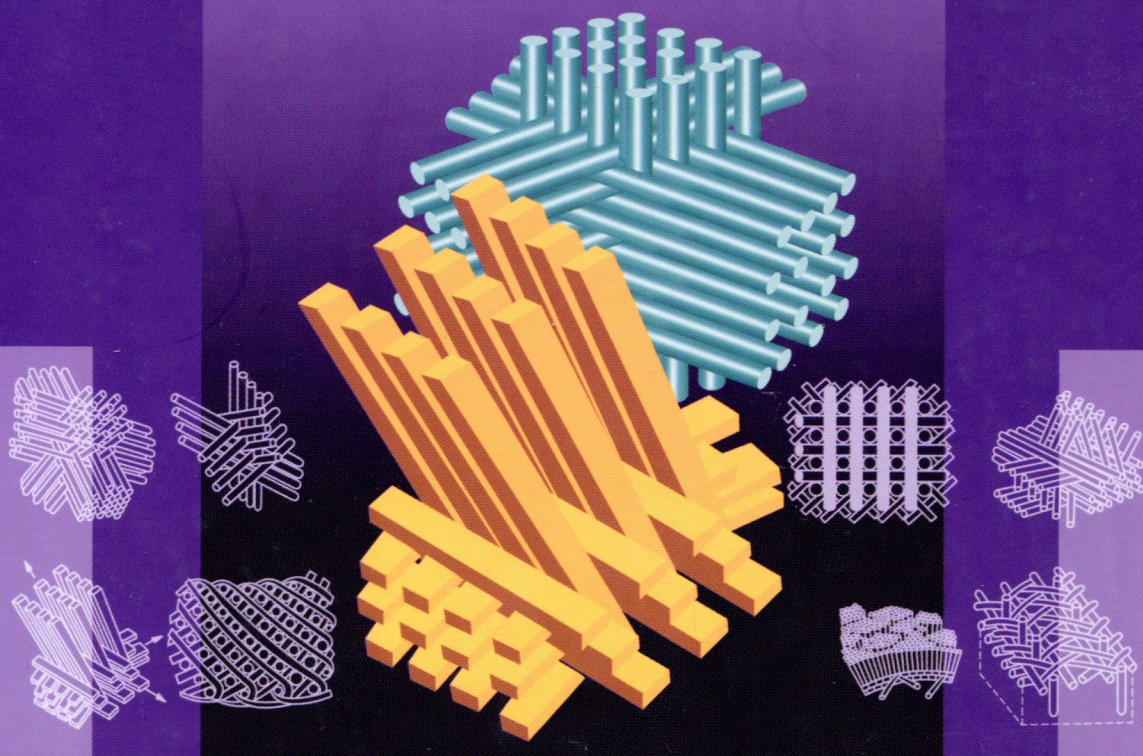


ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

СТРУКТУРА
СВОЙСТВА
ТЕХНОЛОГИЯ

4-е издание



ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ: структура, свойства, технология

под общей редакцией академика Берлина А. А.
4-е исправленное и дополненное издание

*Допущено учебно-методическим объединением по образованию
в области химической технологии и биотехнологии
в качестве учебного пособия для студентов высших
учебных заведений, обучающихся по специальности
«Технология переработки пластических масс и эластомеров»*

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ПРОФЕССИЯ

Санкт-Петербург
2014

ЦЕНТР
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ПРОГРАММ
ПРОФЕССИЯ

УДК 66.022
ББК 35.719
П49

Авторы: Кербер М. Л., Виноградов В. М., Головкин Г. С., Горбаткина Ю. А., Крыжановский В. К., Куперман А. М., Симонов-Емельянов И. Д., Халиулин В. И., Бунаков В. А.

П49 Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология : учеб. пособие. — 4-е испр. и доп. изд. / под ред. А.А. Берлина. — СПб.: ЦОП «Профессия», 2014. — 592 с., ил.

ISBN 978-5-91884-056-6

В книге с единых позиций рассмотрен комплекс проблем, связанный с разработкой композиционных полимерных материалов. Описаны основные виды связующих, приведены характеристики важнейших видов наполнителей и армирующих элементов. Обсуждены особенности физико-химических процессов при взаимодействии матриц и наполнителей различной природы.

В отдельных разделах рассмотрены технологии получения наполненных и армированных материалов, а также заготовок и полуфабрикатов из них. Приведены сведения об особенностях формования различных видов изделий из наполненных пластмасс и армированных пластиков.

Благодаря обширному справочному материалу книга представляет большой интерес в качестве справочного пособия при разработке новых видов ПКМ, конструировании и расчете изделий из них, при выборе оптимальных материалов для решения конкретных задач технического характера.

В обновленном издании добавлены и дополнены главы по технологическим свойствам и применению ПКМ в технике.

УДК 66.022
ББК 35.719

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

Информация, содержащаяся в данной книге, получена из источников, рассматриваемых издательством как надежные. Тем не менее, имея в виду возможные человеческие или технические ошибки, издательство не может гарантировать абсолютную точность и полноту приводимых сведений и не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-5-91884-056-6

© Кербер М. Л., Виноградов В. М., Головкин Г. С., Горбаткина Ю. А., Крыжановский В. К., Куперман А. М., Симонов-Емельянов И. Д., Халиулин В. И., Бунаков В. А.

© ЦОП «Профессия», 2014

© Оформление, ЦОП «Профессия», 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ	9
1.1. Определения и классификация полимерных композитов	11
1.2. Микромеханические аспекты взаимодействия компонентов ПКМ	14
1.3. Упрочностные свойства композитов	19
Литература	23
2. ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (ПКМ)	24
2.1. ПКМ с высоким содержанием волокон	24
2.2. Гибридные и градиентные армированные пластики (ГАП) с регулируемыми механическими свойствами	26
2.3. «Интеллектуальные» композиты	30
Литература	31
3. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СВЯЗУЮЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	32
3.1. Терморезистивные связующие	33
3.1.1. Фенолформальдегидные олигомеры	33
3.1.2. Фурановые олигомеры	36
3.1.3. Кремнийорганические олигомеры (полиорганосилоксаны)	37
3.1.4. Ненасыщенные олигоэфирсы	39
3.1.5. Эпоксидные олигомеры	42
3.1.6. Олигоимиды	47
3.2. Термопластичные связующие	50
3.2.1. Полиолефины	50

3.2.2.	Поливинилхлорид $(-\text{CH}_2-\text{CHCl})_n$	52
3.2.3.	Полистирольные пластики $-\text{[CH}_2-\text{CH(C}_6\text{H}_5\text{)]}_n-$	53
3.2.4.	Полиметилметакрилат $[\text{CH}_2-\text{CH}_3(\text{COCH}_3)]_n$	54
3.2.5.	Полиамиды	54
3.2.6.	Полиформальдегид $(\text{CH}_2\text{O})_n$	56
3.2.7.	Ароматические полиэферы	56
3.2.8.	Полиимиды	58
3.2.9.	Ароматические полиамиды	63
3.2.10.	Полисульфон	64
3.2.11.	Фторполимеры	65
3.2.12.	Полифениленсульфид	66
3.2.13.	Полиэфиркетоны	67
3.2.14.	Полифениленоксид	68
3.3.	Модифицированные матричные полимеры	68
	Литература:	72
4.	ОСНОВНЫЕ ВИДЫ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	73
4.1.	Классификация наполнителей	73
4.1.1.	Дисперсные наполнители	74
4.1.2.	Волокнистые наполнители	83
4.1.3.	Слоистые наполнители	91
4.1.4.	Зернистые наполнители	94
4.2.	Классификация армирующих наполнителей	98
4.2.1.	Стекловолоконистые наполнители	104
4.2.2.	Углеволоконистые наполнители	141
4.2.3.	Органоволоконистые наполнители	147
4.2.4.	Бороволоконистые наполнители	153
4.2.5.	Базальтоволоконистые наполнители	155
4.2.6.	Керамиковолоконистые наполнители	156
	Литература	159
5.	ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛА МАТРИЦА–НАПОЛНИТЕЛЬ	160
5.1.	Физико-химия формирования поверхности раздела	160
5.1.1.	Смачивание и адгезия	160
5.1.2.	Диффузия полимеров в волокна	164
5.1.3.	Адгезионная прочность и остаточные напряжения	165

5.1.4.	Корреляционные диаграммы прочность композита– прочность сцепления компонентов.	172
5.2.	Композиты со стекловолокнистым наполнителем.	172
5.2.1.	Влияние природы и состава матрицы.	173
5.2.2.	Модифицирование поверхности наполнителя.	180
5.2.3.	Связь прочности стеклопластиков с прочностью границы раздела.	183
5.3.	Композиты с углеволокнистым наполнителем.	188
5.3.1.	Влияние природы и состава связующего.	188
5.3.2.	Влияние обработки поверхности волокон.	192
5.3.3.	Связь прочности углепластиков с прочностью границы раздела. ...	194
5.4.	Композиты с бороваолокнистым наполнителем.	195
5.4.1.	Влияние природы и состава матрицы.	195
5.4.2.	Влияние обработки поверхности волокон.	198
5.4.3.	Оценка критической длины волокна из данных адгезионных измерений.	201
5.4.4.	Связь прочности боропластиков с прочностью границы раздела. ..	202
5.5.	Композиты с органоволокнистым наполнителем.	204
5.1.2.	Влияние природы и состава матрицы.	204
5.5.2.	Особенности разрушения соединений жесткоцепное органическое волокно–связующее.	207
5.5.3.	Связь прочности органопластиков с прочностью границы раздела.	209
5.6.	Влияние модифицирования матричных полимеров на адгезионную прочность.	211
	Литература.	221
6.	ПРИНЦИПЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ПКМ.	222
6.1.	Структура наполненных ПМ в зависимости от состава, размера и формы частиц наполнителя.	223
6.1.1.	Связующие и их роль в формировании свойств ПКМ. Физико-химические, реологические и технологические характеристики связующих.	227
6. 1. 2.	Наполнители и их роль в формировании свойств ПКМ.	235
6.2.	Разработка непрерывно армированных пластиков с заданными свойствами.	239
6.2.1.	Общие понятия и представления.	239
6.2.2.	Разработка конструкционных армированных пластиков.	250
6.2.2.1.	Определение состава конструкционных АП.	251
6.2.2.2.	Определение рациональной структуры армирования конструкционных АП.	281
6.2.3.	Разработка АП функционального назначения.	300

6.2.4. Технологическое обеспечение заданных свойств АП	308
Литература	313
7. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ ПЛАСТИЧЕСКИХ МАСС	314
7.1. Стадия подготовки исходных компонентов наполнителей и полимерных связующих)	316
7.1.1. Оценка основных характеристик дисперсных наполнителей	317
7.1.2. Подготовка полимерных связующих	323
7.2. Смешение — основной процесс получения дисперсно-наполненных пластических масс	325
7.2.1. Смешение и структурные параметры дисперсно-наполненных систем.	326
7.2.2. Критерии эффективности и оценка качества смешения	328
7.2.3. Смешение сыпучих материалов и аппаратурное оформление процесса	331
7.2.4. Смешение низковязких жидкостей с твердыми дисперсными наполнителями и аппаратурное оформление процесса	336
7.2.5. Смешение высоковязких полимеров и жидкостей с твердыми наполнителями.	339
7.2.6. Непрерывное смешение высоковязких полимеров с наполнителями	342
7.3. Гранулирование пластмасс	346
7.4. Основные технологические схемы получения дисперсно-наполненных пластических масс	348
7.5. Полимеризационное и поликонденсационное наполнение полимеров ...	351
Литература	353
8. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА	354
8.1. Технологические свойства связующих	354
8.2. Технологические свойства наполнителей	356
8.3. Технологические свойства ПКМ	356
8.3.1. Технологические свойства наполненных материалов на основе термопластов.	356
8.3.2. Технологические свойства наполненных реактопластов	357
8.3.3. Технологические свойства полуфабрикатов армированных пластиков.	357
9. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛУФАБРИКАТОВ ...	359
9.1. Технология получения полуфабрикатов наполненных пластмасс.	359
9.1.1. Получение премиксов	359

9.1.2.	Получение препрегов	360
9.1.3.	Получение волокнитов	363
Ю 2	Технология получения полуфабрикатов армированных пластиков.	367
9.2.1.	Виды полуфабрикатов	367
9.2.2.	Технологический процесс получения полуфабрикатов АП жидкофазным совмещением компонентов	368
9.2.3	Технология изготовления полуфабрикатов АП твердофазным совмещением компонентов.	383
	Литература	393
10.	МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПКМ.	394
10.1.	Формование изделий из наполненных пластмасс	394
10.1.1.	Прессование и литьевое прессование	395
10.1.1.1.	Основные параметры прессования и литьевого прессования.	403
10.1.1.2.	Основное оборудование и оснастка	406
10.1.1.3.	Технологические расчеты	410
10.1.2.	Литье под давлением	412
10.1.2.1.	Основное оборудование.	413
10.1.2.2.	Литьевые формы	420
10.1.2.3.	Основы технологии литья под давлением.	424
10.1.2.4.	Технология производства	426
10.1.3.	Экструзия и соэкструзия.	432
10.1.3.1.	Одношнековые экструдеры	432
10.1.3.2.	Двухшнековые экструдеры.	437
10.1.3.3.	Дисковые и поршневые экструдеры	438
10.1.3.4.	Принципиальное устройство экструзионных головок	439
10.1.3.5.	Теоретическая производительность одношнекового экструдера и экструзионного агрегата	442
10.1.3.6.	Сведения о соэкструзионной технологии	444
10.1.3.7.	Технология производства экструзионных изделий	447
10.1.4.	Штамповка.	471
10.1.5.	Переработка фторопластов	473
10.1.5.1.	Основные разновидности фторопластов	473
10.1.5.2.	Переработка Ф-4 и Ф-4-НТД	475
10.2.	Формирование заготовок из армированных пластиков	477
10.2.1.	Выкладка в форме	478
10.2.2.	Выкладка сухих пакетов	482
10.2.3.	Пултрузия и роллрузия.	484
10.2.4.	Напыление волокна и связующего	487
10.2.5.	Формирование геометрии и структуры плетением	488
10.2.6.	Намотка.	495

10.3. Формование изделий из армированных пластиков	509
10.3.1. Контактное формование	511
10.3.2. Прессовое формование	512
10.3.3. Пневмогидрокомпрессионное формование	518
10.3.4. Термокомпрессионное формование.	522
10.3.5. Магнитоимпульсное формование	522
10.3.6. Пропитка заготовок	524
10.3.7. Выбор метода формования из условий нагруженности деталей	526
10.3.8. Температурный режим формования	529
Литература	533
11. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ И СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ИМИ	536
Литература	547
12. ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕХНИКЕ	548
Авиационная техника	556
Ракетная техника	562
Космические аппараты	565
Автомобильный транспорт	567
Водный транспорт	574
Железнодорожный транспорт	578
Электротехника	579
Строительные сооружения	582
Спортивная техника	584
Развивающиеся виды техники из ПКМ	586
Литература	591