

УДК 678.5/6:678.046
ББК 35.719
З-17

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Казанского национального исследовательского технологического университета*

Рецензенты:

*д-р техн. наук, проф. О. С. Сироткин
д-р техн. наук, проф. Л. А. Абдрахманова*

Заикин А. Е.

З-17 Полимерные композиционные материалы : учебное пособие /
А. Е. Заикин; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед.
технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2018. – 292 с.

ISBN 978-5-7882-2429-9

Рассмотрены основные виды полимерных композиционных материалов, общие принципы их создания путем введения в полимеры газообразных, жидких, полимерных и твердых дисперсных и волокнистых наполнителей, взаимосвязь их состава и структуры со свойствами. Описаны способы получения изделий из полимерных композиционных материалов.

Предназначено для магистрантов, обучающихся по программам подготовки «Химия высокомолекулярных соединений», «Пластические массы», «Полимерные пленочные материалы и искусственная кожа» направления 18.04.01 «Химическая технология», изучающих дисциплины «Полимерные композиционные материалы» и «Многокомпонентные полимерные материалы».

Подготовлено на кафедре технологии пластических масс.

**УДК 678.5/6:678.046
ББК 35.719**

ISBN 978-5-7882-2429-9

Заикин А. Е., 2018
Казанский национальный исследовательский
технологический университет, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ	8
1.1. История и причины создания композиционных материалов	8
1.2. Определение ПКМ	12
1.3. Классификация ПКМ.....	14
Литература	17
2. АДГЕЗИЯ МЕЖДУ МАТРИЦЕЙ И НАПОЛНИТЕЛЕМ.....	18
2.1. Работа адгезии.....	18
2.2. Адгезионная прочность	20
2.3. Теории адгезии	23
2.3.1. Электростатическая теория адгезии	23
2.3.2. Механическая теория адгезии	25
2.3.3. Диффузионная теория адгезии	26
2.3.4. Теория слабого граничного слоя.....	27
2.3.5. Адсорбционная (молекулярная) теория адгезии.....	28
2.3.6. Теория адгезии, основанная на рассмотрении разрушения.....	34
Литература	35
3. ХАРАКТЕРИСТИКА ТВЕРДЫХ ДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ	36
3.1. Свойства наполнителей	36
3.2. Классификация дисперсных наполнителей	46
Литература	47
4. СМЕШЕНИЕ, КАК СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПКМ	48
4.1. Общая характеристика процесса смешения	48
4.2. Механизм диспергирования частиц твердого наполнителя при смешении с вязкотекучим полимером	49
4.3. Характеристика качества смешения	53
4.3.1. Оценка равномерности распределения компонентов	53
4.3.2. Оценка качества диспергирования наполнителя	56
4.4. Способы повышения качества диспергирования наполнителя при смешении с вязкотекучим полимером	59
4.4.1. Повышение качества диспергирования наполнителя путем интенсификации процесса разрушения агломератов	59
4.4.2. Повышение качества диспергирования путем интенсификации процесса смачивания наполнителя	

полимером	61
4.5. Механохимические процессы при смешении	64
4.6. Способы смешения полимеров с дисперсными наполнителями	66
4.7. Оборудование для смешения пластических масс	69
4.7.1. Вальцы	70
4.7.2. Двухроторные смесители закрытого типа	71
4.7.3. Двухроторные лопастные смесители открытого типа	74
4.7.4. Экструдеры	76
Литература	82
5. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ	84
5.1. Основные цели введения дисперсных наполнителей в полимеры	84
5.2. Влияние наполнителя на сопротивляемость деформированию	87
5.2.1. Влияние наполнителя на вязкость	89
5.2.2. Влияние наполнителя на модуль упругости	90
5.2.3. Влияние характеристик наполнителя на упругие свойства полимеров	92
5.3. Прочность наполненных полимеров	93
5.3.1. Теоретические представления о прочности полимеров	96
5.3.2. Теоретические представления о влиянии порошкообразных наполнителей на прочность полимеров	99
5.4. Предел вынужденной эластичности наполненных полимеров	104
5.5. Влияние наполнителя на предельную деформацию полимеров	106
5.6. Влияние наполнителя на работу разрушения и ударную вязкость полимеров	108
5.7. Влияние наполнителя на температуру хрупкости полимеров	109
Литература	110
6. ПОЛИМЕРЫ С ВОЛОКНИСТЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ	111
6.1. Механизм усиления полимеров волокнами	111
6.2. Влияние различных факторов на свойства полимеров с волокнистым наполнителем	114

6.2.1. Влияние содержания наполнителя	114
6.2.2. Влияние длины волокна	116
6.2.3. Влияние адгезии между фазами	117
6.2.4. Влияние ориентации волокон	120
6.2.5. Влияние соотношения модулей упругости волокна и связующего	122
6.3. Компоненты для ПКМ с волокнистыми наполнителями	122
6.3.1 Волокнистые наполнители	122
6.3.2. Связующие	131
6.4. Получение наполненных волокнами полимерных композитов (полуфабрикатов)	135
6.4.1. Получение композитов с короткими волокнами	135
6.4.2. Получение композитов с бесконечными волокнами (пропитка)	136
6.4.2.1. Получение композитов пропиткой низковязкими связующими (реактопластичными олигомерами)	136
6.4.2.2. Получение композитов пропиткой высоковязкими связующими (термопластами)	144
Литература	147
7. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ АРМИРОВАННЫХ ВОЛОКНАМИ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ	148
7.1. Получение полимерных изделий, наполненных короткими волокнами	148
7.2. Методы получения полимерных изделий, наполненных бесконечными волокнами	152
7.2.1. Методы получения изделий укладкой в форму	152
7.2.1.1. Изготовление изделий из отдельно взятых бесконечных волокон и связующего	161
7.2.1.2. Методы получения изделий укладкой готового ПКМ в форму	170
7.2.2. Протяжка	182
7.2.3. Намотка	189
7.2.3.1. Технология намотки	190
7.2.3.2. Разновидности оправок	198
7.2.3.3. Намоточные станки	200
7.2.3.4. Намотка изделий из ПКМ с термопластичной матрицей	205

Литература	206
8. СМЕСИ ПОЛИМЕРОВ	208
8.1. Взаимная растворимость полимеров и адгезия между ними ..	208
8.2. Механизм смешения полимеров и размер полимерных частиц	215
8.3. Структура двухфазных смесей полимеров	219
8.4. Механические свойства смесей полимеров	221
8.4.1. Упругость гетерофазных смесей полимеров	222
8.4.2. Прочностные свойства гетерофазных смесей полимеров	224
8.5. Усиление хрупких полимеров эластомерами	227
8.6. Термопластичные эластомеры на основе смесей полимеров ..	234
Литература	237
9. КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ С ЖИДКОСТЯМИ	238
9.1. Растворимость полимеров в жидкостях	238
9.2. Пластификация полимеров	243
9.2.1. Механизм пластификации	243
9.2.2. Влияние пластификатора на различные свойства полимера	244
9.2.3. Влияние характеристик пластификатора на его пластифицирующую эффективность	249
9.2.4. Теории пластификации	251
9.2.5. Требования к пластификаторам	254
Литература	257
10. ГАЗОНАПОЛНЕННЫЕ ПОЛИМЕРЫ	258
10.1. Классификация газонаполненных полимеров	258
10.2. Классификация методов получения газонаполненных полимеров	260
10.2.1. Методы и принципы получения газонаполненных полимеров через стадию вспенивания	260
10.2.2. Методы получения газонаполненных полимеров без стадии вспенивания	262
10.3. Получение газонаполненных полимеров через стадию вспенивания	262
10.3.1. Теоретические основы вспенивания газом, выделяющимся в объеме полимера	262
10.3.2. Технологические приемы вспенивания	266

10.3.2.1. Вспенивание газом, растворенным в полимере под давлением	266
10.3.2.2. Вспенивание за счет растворенной в полимере легколетучей жидкости	267
10.3.2.3. Вспенивание за счет термического разложения твердых химических газообразователей	269
10.3.2.4. Вспенивание за счет газа, выделяющегося при взаимодействии компонентов полимерной композиции ..	272
10.3.2.5. Механическое вспенивание	273
10.3.3. Методы получения изделий при вспенивании полимеров	274
10.3.3.1. Экструзионный метод	274
10.3.3.2. Литье при низком давлении	276
10.3.3.3. Заливка в форму	277
10.3.3.4. Свободная заливка	279
10.3.3.5. Напыление	280
10.3.3.6. Компрессионное формование	281
10.3.3.7. Вспенивание гранул с последующим их спеканием	282
10.4. Структура и свойства газонаполненных полимеров	284
10.5. Применение газонаполненных полимеров	290
Литература	290
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	291