



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВПО «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

**А.А. Аскадский, М.Н. Попова**

# **СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Учебное пособие**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВПО «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

А.А. Аскадский, М.Н. Попова

# СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Учебное пособие

Москва 2013

УДК 678:541(075.8)  
ББК 24.7  
А 90

Рецензенты:  
доктор химических наук *Н.А. Халтуринский*,  
заведующий лабораторией Института химической физики РАН;  
доктор технических наук *В.В. Козлов*, профессор  
кафедры строительных материалов ФГБОУ ВПО «МГСУ»

*Рекомендовано научно-методическим советом ИСА МГСУ*

**Аскадский, А.А.**

**А 90** Структура и свойства полимерных строительных материалов : учебное пособие / А.А. Аскадский, М.Н. Попова ; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т». — Москва : МГСУ, 2013. — 203 с.

**ISBN 978-5-7264-0726-5**

Рассмотрены вопросы, связанные с изучением структуры и свойств полимерных строительных материалов, с моделированием свойств полимеров по предложенным расчетным схемам. Приведенные сведения необходимы при производстве полимерных материалов и изделий.

Для бакалавров и магистров, обучающихся по направлению 270100 «Строительство», а также для аспирантов и работников научных учреждений.

**УДК 678:541(075.8)  
ББК 24.7**

ISBN 978-5-7264-0726-5

© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2013

## ВВЕДЕНИЕ

Строительство — наиболее широкая область применения полимерных материалов. Их используют как:

- отделочные материалы (декоративные пленки, линолеум, бумажно-слоистый пластик);
- эффективные теплоизоляционные материалы (пено-, поро- и сотопласты);
- гидроизоляционные и герметизирующие материалы (пленки, прокладки, мастики);
- погонажные изделия (поручни, плинтусы);
- санитарно-технические изделия (трубы);
- а также в технологии бетона (полимербетоны и бетонополимеры) и для модификации строительных материалов.

Широкое применение полимерных материалов связано, во-первых, с доступностью сырья для их производства (большинство полимеров получают из нефти, газа, угля и других распространенных веществ), во-вторых, с возможностью получать материалы с заранее заданным комплексом свойств (существуют пластмассы термостойкие, морозостойкие, водоотталкивающие, электроизоляционные и др.), в-третьих, процесс их производства поддается полной механизации и автоматизации.

Все применяемые в наши дни полимеры можно разбить на 4 типа, в соответствии с формой изделий, наиболее общими свойствами и способом производства:

1 тип: *конструкционные пластики* — твердые вещества с разрывной прочностью от 5 до 200 МПа и относительным удлинением в момент разрыва не более 100 % (гетинакс (связующее ФФС, наполнитель — бумага); текстолит (наполнитель — х/б ткань); древесные пластики (ДСП, ДВП); эбонит и др.)).

2 тип: *эластомеры* — характеризуются высокой эластичностью, т.е. способностью к большим обратимым деформациям (у лучших образцов резины она может достигать 500 %). На их основе изготавливают клеи и мастики, а также герметизирующие материалы.

3 тип: *волокна и нити*. Свойства материалов, изготовленных из них, анизотропны, т.е. прочность, гибкость, твердость различны, если измерять их вдоль одной оси и вдоль двух других. Анизотропия объясняется химической структурой и общими свойствами исходного полимера.

Волокна могут быть полиамидные (наилон-( $\text{HN}-(\text{CH}_2)_6\text{NHOC}-(\text{CH}_2)_4\text{CO}-$ ) $_n$ ), полиэфирные (лавсан), вискозные и др. На основе полимерных волокон и нитей получают строительные материалы:

напольные покрытия — гомогенные и плиточные (виниловые), текстильные обои, армированные шланги для транспортировки агрессивных сред, стропы, веревки (полипропиленовые) и др.

4 тип: *пленки, лаки, краски, декоративные покрытия* — для полимеров данного типа характерна сильная анизотропия свойств. Кроме того, для лакокрасочных материалов особое значение имеет прочность их сцепления с обрабатываемой основой — адгезия. И еще одна особенность материала этого типа — практическое применение обычно не допускает их предварительного формования: их применяют на месте, нанося тонким слоем на поверхность. Необходимо, чтобы материал до применения был жидким и легко распределялся по поверхности, а потом становился прочным и твердым. Сюда относятся эпоксидные, полиэфирные, полиуретановые краски (эстетичны, экономичны, автоматическое нанесение, однослойность), лаки на основе акриловых, эпоксидных смол (атмосферостойки: защита бетона, кирпича).

Кроме этих 4 основных типов существует несколько вспомогательных: клей, заливочные и герметизирующие смеси и др.

Такое деление достаточно условно, так как один и тот же материал в несколько измененном виде может использоваться для различных целей: ПВХ пленка может быть как отделочным, так и гидроизоляционным материалом, а некоторые отделочные пластмассы могут выполнять не только декоративные функции, но и роль ограждающих конструкций, воспринимающих определенные механические нагрузки (например, стеклопластик: для декоративной облицовки, устройства кровель, а также сильно нагруженные детали конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах).

Для понимания факторов, влияющих на свойства полимерных строительных материалов, в данном пособии рассматриваются вопросы, связанные с влиянием химического строения и структурных особенностей полимеров на их свойства. В первую очередь это вопросы, связанные с характером молекулярной упаковки цепей полимеров, и способы ее оценки на основании Ван-дер-Ваальсовых радиусов атомов, вступающих как в химическое, так и межмолекулярное взаимодействие. Рассматриваются вопросы упаковки полимерных цепей в монолитных и твердых аморфных телах, способы расчета доли занятого объема (коэффициента молекулярной упаковки), плотности полимеров и характера их пористой структуры.

Особое внимание уделено термомеханическому методу исследования полимеров, который повсеместно используется для анализа изменения их свойств с температурой. Термомеханический метод

## О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение.....	3
Глава 1. УПАКОВКА МАКРОМОЛЕКУЛ В ПОЛИМЕРАХ .....	6
1.1. Общие положения.....	6
1.2. Монолитные полимерные тела .....	20
1.3. Особенности пористой структуры полимеров .....	27
Глава 2. ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОЛИМЕРОВ .....	37
Глава 3. ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПОЛИМЕРА И МОЛЕКУЛЯРНОГО ВЕСА НА ТЕМПЕРАТУРУ СТЕКЛОВАНИЯ .....	51
3.1. Влияние химического строения.....	51
3.2. Влияние молекулярного веса .....	56
Глава 4. ПРИРОДА СТЕКЛООБРАЗНОГО СОСТОЯНИЯ .....	59
4.1. Релаксационный механизм перехода .....	59
4.2. Молекулярный механизм отвердевания полимеров .....	64
4.3. Основные правила пластификации полимеров .....	71
Глава 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ МЕХАНИЧЕСКОГО СЕГМЕНТА МАКРОМОЛЕКУЛЫ .....	76
Глава 6. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТЕМПЕРАТУРУ СТЕКЛОВАНИЯ ПОЛИМЕРОВ .....	82
6.1. Влияние механического напряжения на температуру стеклования.....	82
6.2. Влияние времени механического и теплового воздействия на температуру стеклования .....	87
Глава 7. СВЯЗЬ ТЕМПЕРАТУРЫ СТЕКЛОВАНИЯ С ХИМИЧЕСКИМ СТРОЕНИЕМ ПОЛИМЕРОВ .....	96
Глава 8. МЕХАНИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ ПОЛИМЕРОВ .....	102
8.1. Ранние представления .....	102
8.2. Современные представления о разрушении полимеров .....	105
8.3. Термофлуктуационные концепции механизма разрушения .....	110
8.4. Долговечность полимеров при меняющихся напряжениях и температурах .....	118

Глава 9. МЕХАНИЧЕСКИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОЛИМЕРАХ .....	125
9.1. Механические модели полимерных тел. Простейшие модели.....	125
9.2. Многоэлементные модели.....	130
9.3. Модель Каргина — Слонимского, учитывающая наличие межмолекулярного взаимодействия.....	139
9.4. Рассмотрение высокоэластичности как самостоятельного вида деформации.....	142
9.5. Некоторые сведения о теории упругого последействия, данной Больцманом .....	145
9.6. О ядрах релаксации.....	151
9.7. Описание процессов сорбции и набухания .....	156
9.8. Принцип температурно-временной суперпозиции.....	160
Глава 10. ОПТИЧЕСКИЕ, ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ.....	164
10.1. Оптические и диэлектрические свойства .....	164
10.2. Теплофизические свойства полимеров .....	175
Глава 11. РАСТВОРИМОСТЬ И СОВМЕСТИМОСТЬ ПОЛИМЕРОВ.....	179
11.1. Плотность энергии когезии органических жидкостей и полимеров. Параметр растворимости Гильдебранда .....	179
11.2. Поверхностное натяжение органических жидкостей и полимеров .....	181
11.3. Критерий растворимости полимеров в органических растворителях.....	184
11.4. Критерий совместимости полимеров .....	188
Библиографический список.....	198