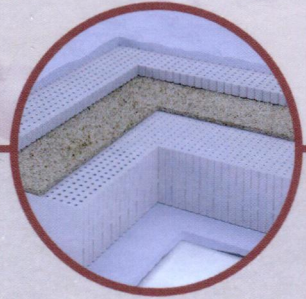
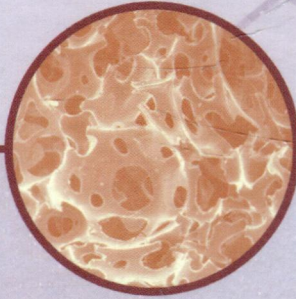


М. Зонненшайн

# ПОЛИУРЕТАНЫ

СОСТАВ, СВОЙСТВА, ПРОИЗВОДСТВО, ПРИМЕНЕНИЕ



# **POLYURETHANES**

---

## **Science, Technology, Markets, and Trends**

**MARK F. SONNENSCHNEIN, Ph.D.**

The Dow Chemical Company  
Midland, MI, USA

**WILEY**

Марк Ф. Зонненшайн

# Полиуретаны.

Состав, свойства, производство,  
применение

*Перевод с английского языка*

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
**ПРОФЕССИЯ**

Санкт-Петербург  
2018

ЦЕНТР  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ  
ПРОГРАММ  
**ПРОФЕССИЯ**

УДК 678.04  
ББК 35.710Англ  
3 84

**Марк Ф. Зонненшайн**

384 **Полиуретаны. Состав, свойства, производство, применение** : пер. с англ. яз. — СПб. : ЦОП «Профессия», 2018. — 576 с., цв. ил.

ISBN 978-5-91884-095-5  
ISBN 978-1-118-73783-5 (англ.)

Раскрыт химизм и синтез полиуретанов (ПУР), включая анализ свойств основных компонентов, добавок, реагентов и катализаторов, методы получения и технологии, анализ структуры и конечных свойств ПУР.

В отдельных главах рассмотрены вопросы производства, переработки и области применения эластичных и жестких пенополиуретанов, полиуретановых эластомеров и клеев. Даны практические рекомендации при использовании конструкционных и других пенопластов, пен, покрытий, клеев в различных отраслях — медицине, обувной промышленности, строительстве, приборостроении и т. д. Приведен обзор рынков изделий на основе ПУР, обозначены перспективы и тенденции их развития. В специальной главе рассмотрены полиуретаны не на основе изоцианатов.

Книга адресована разработчикам и потребителям ПУР и изделий на их основе, технологам, специалистам и исследователям в области полиуретанов.

**УДК 678.04**  
**ББК 35.710Англ**

Copyright © 2015 by John Wiley & Sons International Rights, Inc. All rights reserved

This translation published under license by John Wiley & Sons International Rights, Inc. Responsibility for the accuracy of the translation rests with EPC "Professiya" and is not the responsibility of John Wiley & Sons International Rights, Inc. Not part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyright holder, John Wiley & Sons International Rights, Inc.

*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 ISBN 978-1-118-73783-5 (англ.)  
ISBN 978-5-91884-095-5

© John Wiley & Sons International Rights, Inc., 2015  
© ЦОП «Профессия», 2018  
© Перевод, оформление: ЦОП «Профессия», 2018

# Оглавление

<b>1. Введение</b> .....	<b>9</b>
Литература .....	21
<b>2. Составные блоки цепей полиуретанов</b> .....	<b>22</b>
2.1. Полиолы .....	23
2.1.1. Полиолы на основе простых полиэфиров .....	25
2.1.2. Полиолы на основе сложных полиэфиров .....	46
2.1.3. Другие типы полиолов .....	65
2.1.4. Наполненные полиолы .....	73
2.1.5. Полиолы, получаемые в результате переработки растительных масел .....	80
2.1.6. Преполимеры (форполимеры) .....	88
2.2. Изоцианаты .....	91
2.2.1. ТДИ .....	95
2.2.2. Дифенилметандиизоцианаты .....	108
2.2.3. Алифатические изоцианаты .....	119
2.3. Компоненты, удлиняющие полимерную цепь .....	128
Литература .....	135
<b>3. Введение в химию процесса получения полиуретанов</b> .....	<b>144</b>
3.1. Введение .....	144
3.2. Механизм образования уретанов и природа используемых катализаторов .....	147
3.3. Реакции изоцианатов с соединениями, имеющими подвижный атом водорода .....	154
3.3.1. Образование мочевины .....	159
3.3.2. Образование аллофаната .....	160
3.3.3. Образование биурета .....	162
3.3.4. Образование уретидиона .....	163
3.3.5. Образование карбодимида .....	163
3.3.6. Образование уретонимина .....	166
3.3.7. Образование амида .....	167
Литература .....	168
<b>4. Теоретические концепции и методики, используемые в технологии полиуретанов</b> .....	<b>172</b>
4.1. Образование структуры полиуретанов .....	173
4.2. Свойства полиуретанов .....	186
4.2.1. Модели и расчеты значений модулей полимера .....	187
4.2.2. Модели деформационно-прочностных характеристик эластомеров .....	193
4.2.3. Температура стеклования полиуретана .....	205
Литература .....	210
<b>5. Аналитические характеристики полиуретанов</b> .....	<b>213</b>
5.1. Анализ реагентов, использующихся для производства полиуретанов .....	214
5.1.1. Анализ полиолов .....	214

5.1.2.	Анализ изоцианатов .....	222
5.2.	Инструментальные методы анализа полиуретанов .....	225
5.2.1.	Микроскопия .....	226
5.2.2.	ИК-спектроскопия .....	238
5.2.3.	Рентгеновский анализ .....	242
5.3.	Анализ механических характеристик .....	254
5.3.1.	Испытание на растяжение и на разрыв, определение относительного удлинения при разрыве .....	256
5.3.2.	Динамический механический анализ (ДМА) .....	265
5.4.	Спектроскопия ядерного магнитного резонанса .....	269
	Литература .....	274
<b>6.</b>	<b>Эластичный пенополиуретан: химические свойства и производство .....</b>	<b>278</b>
6.1.	Получение пенополиуретана .....	278
6.1.1.	Пенопласт в виде листов и блоков .....	280
6.1.2.	Пенопласт в виде формованных изделий .....	287
6.2.	Процесс вспенивания .....	295
6.2.1.	Поверхностные явления и катализ .....	301
6.3.	Состав и соотношение структуры и свойств эластичных пенополиуретанов .....	313
6.3.1.	Предварительные испытания .....	313
6.3.2.	Состав и соотношение структуры и свойств пенополиуретанов .....	316
	Литература .....	321
<b>7.</b>	<b>Эластичный пенополиуретан: производство, применение, рынки потребления и тенденции .....</b>	<b>323</b>
7.1.	Области применения .....	325
7.1.1.	Производство мебели .....	326
7.1.2.	Производство матрацев и постельных принадлежностей .....	332
7.1.3.	Изготовление изделий для транспортных средств .....	337
7.1.4.	Рынок формованных изделий .....	342
7.2.	Тенденции в сфере производства пенопластов .....	344
	Литература .....	350
<b>8.</b>	<b>Жесткий пенополиуретан: производство, применение, рынки потребления и тенденции .....</b>	<b>352</b>
8.1.	Динамика развития региональных рынков .....	353
8.2.	Области применения .....	359
8.2.	Пенопласты для строительной индустрии .....	360
8.2.2.	Сегменты рынка жестких конструкционных пенопластов .....	380
8.2.3.	Пенопласты для бытовой техники .....	384
8.3.	Фундаментальные основы функционирования вспенивающих добавок и технология получения изоляционных материалов .....	392
8.3.1.	Вспенивающие добавки .....	392
8.3.2.	История ограничения использования вспенивающих добавок .....	393
8.4.	Фундаментальные основы получения изоляционных материалов .....	396

8.5. Тенденции в сфере производства жестких пенопластов .....	401
Литература .....	405
<b>9. Полиуретановые эластомеры: производство, применение, рынки потребления и тенденции .....</b>	<b>409</b>
9.1. Динамика развития региональных рынков .....	411
9.2. Области применения .....	415
9.2.1. Производство обуви .....	416
9.2.2. Применение эластомеров в других сферах и методы производства .....	431
9.3. Тенденции в сфере производства полиуретановых эластомеров .....	464
Литература .....	468
<b>10. Полиуретановые адгезивы и покрытия: производство, применение, рынки потребления и тенденции .....</b>	<b>472</b>
10.1. Сферы производства адгезивов и материалов покрытий: схожие черты и различия .....	472
10.2. Адгезивы .....	476
10.2.1. Композиции адгезивов .....	483
10.2.2. Тенденции в технологии полиуретановых адгезивов .....	494
10.3. Покрытия .....	498
10.3.1. Состав материалов полиуретановых покрытий .....	509
10.3.2. Тенденции в сфере производства полиуретановых материалов покрытий .....	523
Литература .....	527
<b>11. Специальные вопросы: использование полиуретана в медицине .....</b>	<b>530</b>
11.1. Рынки потребления, производители и потребители .....	531
11.2. Технология производства .....	536
11.2.1. Катетеры .....	536
11.2.2. Повязки на раны .....	538
11.2.3. Биоабсорбируемые полиуретаны .....	541
11.2.4. Гидрогели .....	546
11.2.5. Перчатки и презервативы .....	549
Литература .....	551
<b>12. Специальные вопросы: получение полиуретанов без использования изоцианатов .....</b>	<b>554</b>
12.1. Правительственные акты, ограничивающие потребление изоцианатов .....	554
12.2. Полиуретаны без применения изоцианатов .....	558
12.2.1. Реакции полициклических карбонатов с полиаминами .....	559
12.2.2. Прямое преобразование аминов в уретаны .....	566
12.2.3. Реакции поликарбаматов .....	569
12.2.4. Получение полиуретанов путем преобразования гидроксамовых кислот .....	571
12.2.5. Преобразование гидроксиламинов в полиуретаны .....	572
Литература .....	573