

Шварц О., Эбелинг Ф.-В., Фурт Б.

# ПЕРЕРАБОТКА ПЛАСТМАСС

под редакцией канд. техн. наук  
А.Д. Паниматченко

Санкт-Петербург

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ПРОФЕССИЯ

2005

**УДК 678.06**  
**ББК 35.710Нем**  
**Шв33**

Шв33 / Шварц О., Эбелинг Ф.-В., Фурт Б.;  
под. общ. ред. А.Д. Паниматченко. — СПб.: Профессия, 2005. —  
320 стр., ил.

ISBN 5-93913-079-8  
ISBN 3-8023-1893-5 (нем.)

В практическое руководство вошло описание основных способов переработки пластмасс, некоторых методов дополнительной обработки и соединения изделий на их основе. Описано современное промышленное оборудование и рассмотрены специфические проблемы, возникающие в ходе его эксплуатации. Издание содержит большое количество иллюстративного материала и отличается доступным стилем изложения.

Книга адресована широкому кругу специалистов, работающих в индустрии пластмасс.

Copyright of the Original German language edition:  
by Vogel Industrie Medien GmbH & Co KG, Würzburg (Germany). All right reserved.

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

ISBN 5-93913-079-8  
ISBN 3-8023-1893-5 (нем.)

© 2002 by Vogel Verlag  
© 2005, Н. Савченков, перевод  
© 2005, изд-во «Профессия»

# ПРЕДИСЛОВИЕ К 9 ИЗДАНИЮ

В переработке пластмасс уже не появляется принципиально новых методов — техническое развитие относится по большей части к новинкам автоматизации, управляющей и регулирующей техники, направленным на выпуск продукции более высокого качества. Отметим, что прогресс все больше затрагивает области и методы, которые ранее относились исключительно к сфере ручного труда.

Как и все предшествующие, очередное издание данной книги должно стать ориентиром для всех кто хочет иметь максимально широкое представление о переработке пластмасс. В связи с этим мы сохранили простой и доступный способ изложения.

Авторы благодарят издательство *Vogel Buchverlag*

*О. Швари, Ф.-В. Эбелинг, Б. Фурт*

# ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Вашему вниманию предлагается издание, в котором в наглядной форме и понятным языком обобщены современные представления и накопленные экспериментальные данные по технологии переработки полимеров, пластических масс, композиционных материалов и эластомеров, подбору основного оборудования и оснастки. Кроме обзора процессов переработки, авторы включили описание важного периферийного оборудования и программ автоматизации, и представили справочные данные, соответствующие принятой в Германии системе стандартов. Книга будет полезной с точки

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Введение в технологию полимеров .....</b>	<b>13</b>
1.1. Классификация полимеров .....	13
1.2. Температурный режим и переработка полимеров .....	15
1.3. Параметры, влияющие на переработку .....	15
1.3.1. Молекулярная масса и степень полимеризации .....	15
1.3.2. Насыпная плотность, плотность заполнения, степень уплотнения .....	16
1.3.3. Текучесть полимеров .....	16
1.3.3.1. Текучесть термопластов .....	16
1.3.3.2. Текучесть реактопластов .....	17
<b>2. Приготовление и подготовка сырья .....</b>	<b>18</b>
2.1. Общая информация .....	18
2.2. Измельчение .....	19
2.3. Смешение .....	21
2.4. Пластосмещение .....	24
2.5. Гранулирование .....	26
2.6. Хранение и транспортировка .....	27
<b>3. Каландрование .....</b>	<b>31</b>
3.1. Общие сведения .....	31
3.2. Полимерные материалы, перерабатываемые каландрованием .....	32
3.3. Устройство каландра .....	32
3.4. Устройство линии каландрования и технология производственных процессов .....	33
3.5. Дополнительная обработка листов (пленок) .....	38
<b>4. Нанесение покрытий на подложку .....</b>	<b>39</b>
4.1. Общие сведения .....	39
4.2. Подложки и их предварительная обработка .....	39
4.3. Составы для покрытий .....	40
4.4. Способы нанесения покрытий и используемое для этого оборудование .....	41
4.4.1. Намазывание .....	41
4.4.2. Нанесение покрытия валком .....	42
4.4.3. Нанесение покрытия методом погружения .....	43
4.4.4. Нанесение трафаретной печатью .....	43

4.4.5. Экструзионное нанесение покрытия .....	44
4.4.6. Нанесение покрытия каландрованием .....	44
4.4.7. Косвенное нанесение покрытий .....	45
4.4.8. Термокамера .....	45
4.4.9. Охлаждение .....	46
4.5. Технология нанесения покрытий из ПВХ .....	46
4.6. Поверхностная обработка подложек с нанесенным на них покрытием .....	47
4.6.1. Тиснение .....	47
4.6.2. Перекрашивание .....	48
4.6.3. Нанесение лакового покрытия .....	48
<b>5. Экструзия .....</b>	<b>49</b>
5.1. Общая информация .....	49
5.2. Материалы, перерабатываемые экструзией .....	50
5.3. Конструкция экструдера .....	51
5.3.1. Одношнековый экструдер .....	51
5.3.1.1. Шнек .....	52
5.3.1.2. Цилиндр .....	54
5.3.1.3. Приводы .....	55
5.3.1.4. Нагрев и охлаждение .....	55
5.3.2. Двухшнековый экструдер .....	55
5.4. Технологические процессы в экструдере .....	57
5.4.1. Перемещение полимера .....	58
5.4.2. Уплотнение полимера .....	58
5.4.3. Расплавление полимера .....	59
5.4.4. Гомогенизация расплава .....	60
5.4.5. Рост давления в цилиндре экструдера .....	61
5.5. Экструзионные головки .....	62
5.5.1. Формующие головки для изготовления труб и профилей .....	62
5.5.2. Экструзионные головки в производстве плоских пленок и листов .....	65
5.5.3. Экструзионные головки для получения рукавной пленки методом раздува .....	66
5.5.4. Головки для нанесения изоляции экструзией .....	67
5.6. Оборудование, входящее в состав экструзионных линий .....	68
5.6.1. Калибровочное оборудование .....	68
5.6.2. Охлаждающее оборудование .....	70
5.6.3. Приемные устройства .....	70
5.6.4. Намоточные устройства .....	71
5.6.5. Устройства, используемые для разделительной резки .....	71
5.7. Экструзионные линии .....	72
5.7.1. Экструзионные линии для производства труб и профилей .....	72
5.7.2. Линии для изготовления листов и плоских пленок .....	74
5.7.3. Линии для производства пленок методом экструзии рукава с раздувом .....	76
5.7.4. Оборудование, используемое для облицовки .....	77
5.7.5. Линии для вторичной переработки полимеров (ПЭ) .....	79
5.7.6. Прочие экструзионные линии .....	81
5.8. Технологический процесс .....	83
5.8.1. Производственный контроль .....	83

5.8.2. Управление, измерения и регулировки, осуществляемые на экструзионных установках .....	83
5.8.3. Поддержание экструзионных установок в рабочем состоянии .....	86
<b>6. Экструзионно-раздувное формование .....</b>	<b>87</b>
6.1. Общая информация .....	87
6.2. Формующие головки для изготовления заготовок .....	88
6.2.1. Головки с радиальным обтеканием .....	89
6.2.2. Головки с осевым обтеканием .....	90
6.2.3. Накопительные головки .....	90
6.2.4. Прочие головки .....	91
6.3. Узел раздува .....	92
6.3.1. Передача заготовки .....	92
6.3.2. Раздув заготовки .....	92
6.3.3. Узел смыкания формы .....	93
6.4. Раздувные формы .....	94
6.5. Раздувные машины, используемые для изготовления полых изделий .....	96
6.6. Экструзионно-раздувное формование с вытяжкой .....	98
<b>7. Отливка пленок .....</b>	<b>100</b>
<b>8. Литье под давлением .....</b>	<b>102</b>
8.1. Общая информация .....	102
8.1.1. Формовочные массы .....	102
8.1.2. Литьевые машины .....	102
8.1.3. Литьевые формы .....	114
8.1.4. Конструирование изделия .....	129
8.1.5. Технология литья под давлением .....	142
8.2. Инжекционно-раздувное формование .....	156
8.2.1. Машины, используемые для инжекционно-раздувного формования .....	156
8.2.2. Инжекционно-раздувные формы .....	157
8.2.3. Изготовление изделий .....	158
8.3. Литье вспененных термопластов .....	158
8.3.1. Материалы .....	158
8.3.2. Машины, используемые для литья вспененных термопластов .....	159
8.3.3. Литье вспененных термопластов .....	160
8.3.4. Литьевые формы .....	161
8.4. Инжекционно-газовое литье (ИГЛ) .....	162
8.4.1. Материалы .....	162
8.4.2. Литьевые машины с дополнительным оборудованием, предназна- ченные для ИГЛ .....	162
8.4.3. Технология ИГЛ .....	163
8.4.4. Литьевые формы .....	165
8.5. Многокомпонентное литье под давлением .....	165
8.5.1. Материалы .....	165
8.5.2. Литьевые машины, используемые в процессе многокомпонентного литья .....	166
8.5.3. Описание технологии .....	166
8.5.4. Литьевые формы .....	167
<b>9. Прессование .....</b>	<b>168</b>
9.1. Общие сведения .....	168

9.2. Определения .....	168
9.3. Материалы: формы поставки, типизация и приготовление сырья .....	169
9.4. Подготовка полимерного сырья к прессованию .....	171
9.4.1. Дозировка .....	171
9.4.2. Таблетирование .....	172
9.4.3. Предварительный нагрев .....	172
9.4.4. Предпластикация .....	172
9.5. Прессование .....	173
9.5.1. Конструкции прессов .....	175
9.5.2. Пресс-формы .....	176
9.6. Прессование реактопластов, армированных волокнистым наполнителем .....	177
9.7. Литьевое прессование .....	178
9.7.1. Конструкции прессов для литьевого прессования .....	178
9.7.2. Пресс-формы для литьевого прессования .....	179
9.7.3. Давление и температура прессования .....	179
9.8. Снятие облоя .....	179
9.9. Прессование слоистых изделий .....	180
9.10. Прессование термопластов .....	182
<b>10. Вспенивание .....</b>	<b>183</b>
10.1. Общая информация .....	183
10.2. Получение пенопластов .....	184
10.2.1. Полимеры .....	185
10.2.2. Порообразующие вещества .....	185
10.2.3. Прочие добавки .....	187
10.3. Обзор технологии вспенивания .....	187
10.4. Пенопласты с равномерным распределением плотности .....	188
10.4.1. Технология изготовления реакционных пенопластов .....	188
10.4.1.1. Непрерывная переработка .....	188
10.4.1.2. Периодическая переработка .....	190
10.4.1.3. Распыление и нанесение покрытия намазыванием .....	191
10.4.1.4. Вспенивающие установки .....	191
10.4.2. Технология изготовления термопластичных пенопластов .....	192
10.4.2.1. Технология изготовления пенополистирола .....	192
10.4.2.2. Вспенивание .....	192
10.4.2.3. Метод « <i>Trovipor</i> » .....	194
10.5. Интегральные пенопласты .....	194
10.5.1. Литье отверждающихся пенопластов .....	195
10.5.1.1. Установки для получения интегральных пенопластов .....	196
10.5.1.2. Смесительные головки .....	197
10.5.1.3. Крепежные фланцы пресс-форм .....	197
10.5.1.4. Пресс-формы .....	199
10.5.1.5. Дополнительная обработка .....	199
10.5.2. Технология вспенивания без давления .....	199
<b>11. Переработка армированных полимеров .....</b>	<b>200</b>
11.1. Общая информация .....	200
11.2. Исходные материалы .....	200
11.2.1. Ненасыщенные полимеры .....	200
11.2.2. Эпоксидные смолы .....	202

11.2.3. Армирующие волокна .....	203
11.2.4. Добавки и наполнители .....	204
11.3. Отверждение термореактивных полимеров .....	205
11.4. Переработка армированных термореактивных полимеров .....	207
11.4.1. Ручное формование .....	207
11.4.2. Контактное формование напылением .....	210
11.4.3. Технологии низкого давления .....	211
11.4.4. Прессование .....	213
11.4.5. Намотка .....	214
11.4.6. Центробежное формование .....	216
11.4.7. Вытяжка .....	217
11.4.8. Работа с фотоотверждаемыми смолами .....	217
11.4.9. Термопласты, армированные стекломатами .....	218
11.5. Дополнительная обработка изделий из армированных стекломатами термопластов .....	221
<b>12. Литье термореактивных полимеров .....</b>	<b>222</b>
<b>13. Ротационное формование .....</b>	<b>224</b>
13.1. Общая информация .....	224
13.2. Формовочные массы .....	224
13.3. Технологические установки для ротационного формования .....	226
13.3.1. Конструкция и назначение установок для ротационного формования .....	226
13.3.2. Конструкция ротационных технологических установок .....	226
13.4. Ротационные формы .....	228
13.5. Изготовление изделий .....	230
13.6. Дефекты, возникающие в процессе переработки .....	232
<b>14. Нанесение порошковых покрытий .....</b>	<b>234</b>
14.1. Общая информация .....	234
14.2. Вихревое напыление .....	234
14.3. Газопламенное напыление .....	236
14.4. Нанесение покрытия в электростатическом поле .....	237
<b>15. Переработка каучуков .....</b>	<b>238</b>
15.1. Общая информация .....	238
15.2. Материалы .....	238
15.3. Подготовка смесей .....	239
15.4. Каландрование .....	241
15.5. Экструзия .....	241
15.6. Прессование .....	243
15.7. Литье под давлением .....	244
15.8. Ручная сборка .....	245
<b>16. Термоформование .....</b>	<b>247</b>
16.1. Общая информация .....	247
16.2. Физические основы термоформования .....	247
16.3. Процесс формования .....	250
16.4. Подготовка полуфабриката .....	254
16.5. Нагрев заготовки .....	255
16.6. Формы и установки для термоформования .....	255
16.7. Дополнительная обработка .....	257



16.8. Холодное формование листовых термопластов .....	257
<b>17. Сварка .....</b>	<b>258</b>
17.1. Общая информация .....	258
17.2. Классификация технологий сварки полимеров .....	260
17.3. Сварка нагретым инструментом .....	260
17.3.1. Непосредственная сварка нагретым инструментом .....	260
17.3.2. Косвенная сварка нагретым инструментом .....	263
17.4. Сварка горячим газом .....	263
17.4.1. Сварка с качательным движением газовой горелки .....	264
17.4.2. Сварка горячим газом с вытяжкой .....	266
17.4.3. Сварка горячим газом внахлест .....	267
17.4.4. Экструзионная сварка с горячим газом .....	267
17.5. Сварка трением .....	268
17.6. Высокочастотная сварка .....	269
17.7. Ультразвуковая сварка .....	272
17.8. Инфракрасная сварка .....	274
17.9. Лазерная сварка .....	274
<b>18. Склеивание .....</b>	<b>276</b>
18.1. Общая информация .....	276
18.2. Полимерные материалы, подлежащие склеиванию .....	277
18.3. Клеи .....	279
18.4. Механизм отверждения .....	280
18.5. Склеивание .....	281
18.5.1. Конструктивные предпосылки .....	281
18.5.2. Подготовка поверхности .....	282
18.6. Технология склеивания .....	284
<b>19. Механические соединения полимеров .....</b>	<b>286</b>
19.1. Общая информация .....	286
19.2. Заклепочные соединения .....	286
19.3. Резьбовые соединения .....	287
19.4. Соединения защелкиванием .....	288
19.5. Прочие механические соединения .....	289
<b>20. Обработка резанием .....</b>	<b>290</b>
20.1. Общая информация .....	290
20.2. Условия обработки резанием и режущие инструменты .....	290
20.3. Варианты обработки резанием .....	291
<b>21. Отделка полимерных изделий .....</b>	<b>296</b>
21.1. Общая информация .....	296
21.2. Полировка .....	296
21.3. Металлизация .....	297
21.4. Флокирование .....	299
21.5. Нанесение печати .....	300
21.6. Тиснение .....	303
21.7. Маркировка лазером .....	303
21.8. Лакирование .....	304
Литература .....	306
Использованные сокращения .....	309
Алфавитно-предметный указатель .....	310

# 1. ВВЕДЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЮ ПОЛИМЕРОВ

## 1.1. Классификация полимеров

**Полимеры** — это искусственные материалы, которые получают или путем химических превращений природных веществ или, что чаще всего, синтезируют из низкомолекулярных соединений.

- 
- 
- 

**Термопласты** — состоят из длинных молекулярных цепей, которые соединяются между собой силами межмолекулярного взаимодействия.

**Реактопласты** — характеризуются тем, что их макроцепи соединены между собой частыми химическими связями, образовавшимися в результате реакций отверждения.

**Эластомеры** — являются разновидностью реактопластов, в которых соседние макромолекулы соединены редкими химическими связями.

Таблица 1.1

## Переработка аморфных термопластов

	Состояние		
	Стеклообразное	Высокоэластическое	Вязкотекучее
Молекулярная структура	Клубкообразные макромолекулы; значительное межмолекулярное взаимодействие	Увеличивается подвижность молекулярных цепей	Возможность взаимного перемещения макромолекул, межмолекулярное взаимодействие в значительной степени упраздняется
Переработка	<b>Резка</b> и холодная штамповка, разъемное и неразъемное <b>соединение</b> (склеивание), <b>декоративная отделка поверхности</b>	Пневмовакуумформование, горячая штамповка, вытяжка свободная и с пуансоном и пр.	<b>Пластическое деформирование:</b> литье под давлением, экструзия, прессование, пенообразование, каландрование, центробежное (ротационное) формование и так далее. Неразъемное соединение (сварка)

Таблица 1.2

## Переработка частично кристаллических термопластов

	Состояние				
	Твердое	Размягченное	Эластопластическое	Вязкотекучее	Деструкция
Молекулярная структура	Аморфные и кристаллические области прочные, значительное межмолекулярное взаимодействие	Возрастающая подвижность аморфных областей, кристаллические области остаются прочными, значительное межмолекулярное взаимодействие в кристаллических областях	Возрастающее расслоение кристаллических областей	Возможность взаимного перемещения макромолекул	Молекулярное разрушение
Переработка	В этой области не осуществляется	<b>Резка</b> и обработка давлением, разъемное и неразъемное соединение (склеивание), <b>декоративная отделка поверхности</b> (см. табл. 1.1)	<b>Формование:</b> (см. табл. 1.1)	<b>Формование:</b> литье под давлением, экструзия, прессование, пенообразование, каландрование, центробежное (ротационное) формование и т. д.	Неразъемное <b>соединение</b> (сварка)

Таблица 1.3

## Переработка реактопластов

	Состояние	
	Твердый, стекловидный, ломкий	Деструкция
Молекулярная структура	Сетчатые макромолекулы	Молекулярное расщепление реактопласта
Переработка	<b>Резка</b> и холодная штамповка, разъемное и неразъемное соединение, <b>декоративная отделка поверхности</b>	