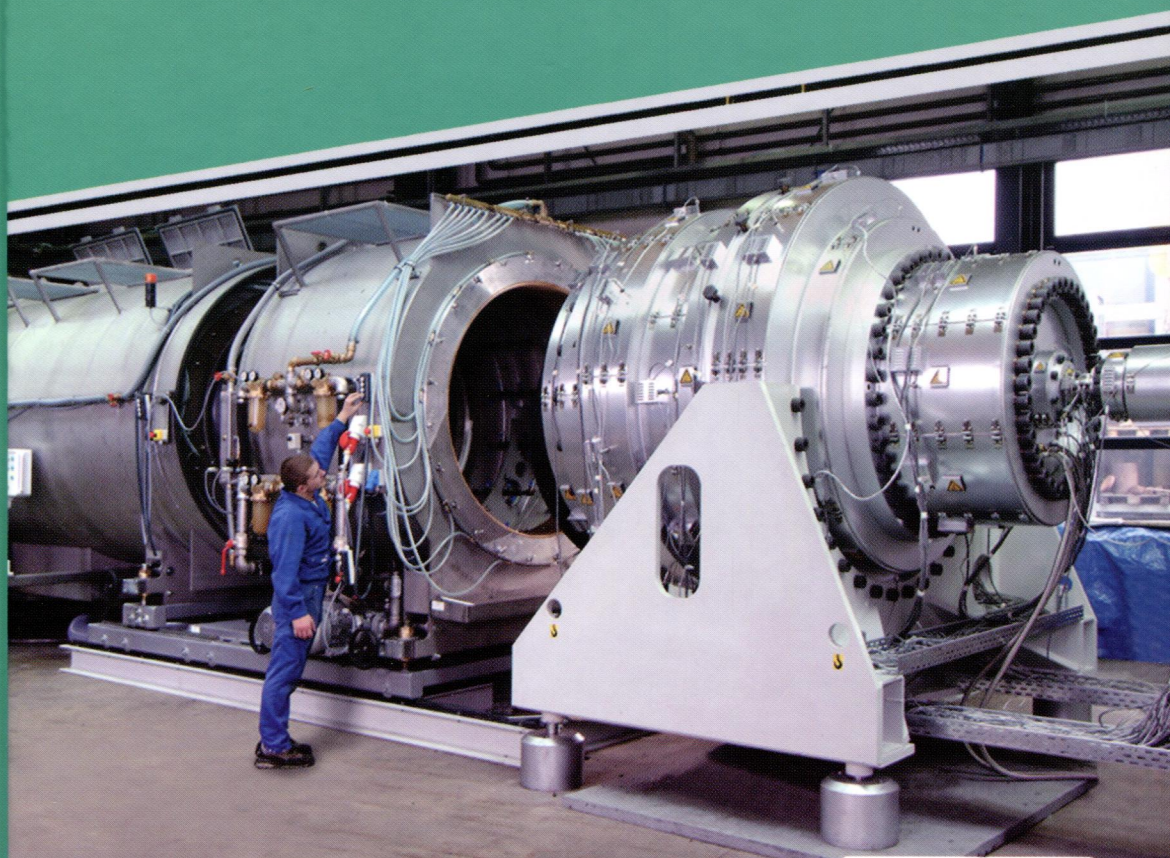


Г. Кэмпбелл, М. Спэлдинг

ВЫЯВЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ В ЭКСТРУДЕРАХ



Г. Кэмпбелл, М. Спэлдинг

ВЫЯВЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ В ЭКСТРУДЕРАХ

*Перевод с английского языка
под редакцией В. С. Кима*

издательство
ПРОФЕССИЯ

Санкт-Петербург
2015

ЦЕНТР
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ПРОГРАММ
ПРОФЕССИЯ

УДК 078.06
ББК 35.710Англ
К983

К983 Г. Кэмпбелл, М. Спэлдинг. Выявление и анализ проблем в экструдерах : пер. с англ. яз. ; под ред. В. С. Кима. — СПб. : ЦОП «Профессия», 2015. — 720 с., цв. ил.

ISBN 978-5-91884-073-3
ISBN 978-1-56990-448-0 (англ.)

Подробно рассмотрены вопросы возникновения и устранения проблем в работе одношнековых экструдеров. Детально описаны фундаментальные процессы, физические свойства материала, его поведение в экструдере, особенности конструкции и работы оборудования с целью оптимизации производственного процесса и эффективного устранения неисправностей. Процесс диагностирования неисправностей представлен с инженерных позиций и основан на разработке гипотезы, ее проверке, численном моделировании и расчетах. Предложены технические решения с разным уровнем риска модификации процесса. Рассмотрены около 100 конкретных примеров возникновения и устранения неисправностей, 30 из которых являются нетипичными и не рассматриваются в других источниках.

Руководство предназначено для специалистов инженерно-технического профиля экструзионных производств, проектировщиков и конструкторов экструзионного оборудования, рекомендовано исследователям, преподавателям и студентам профильных специальностей.

УДК 078.06
ББК 35.710Англ

All rights reserved. Authorized translation from the original English language edition published by Carl Hanser Verlag, Munich/FRG.

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 978-1-56990-448-0 (англ.)
ISBN 978-5-91884-073-3

© Carl Hanser Verlag, Munich/ FRG, 2013
© ЦОП «Профессия», 2015
© Перевод, оформление: ЦОП «Профессия», 2015

Оглавление

Предисловие к русскому изданию	13
Предисловие	14
Благодарность	16
1. Одношнековая экструзия: введение и диагностирование неисправностей	17
1.1. Структура этой книги	20
1.2. неполадки экструзионных процессов	21
1.2.1. Проблемы литья под давлением в корпорации «Сатурн»	21
1.3. Геометрия шнека	22
1.3.1. Выбор геометрии шнека	24
1.4. Производительность зоны дозирования	26
1.5. Примеры расчетов	31
1.5.1. Пример 1. Расчет циркуляционной и продольной составляющих потока	31
1.5.2. Пример 2. Расчеты потоков для правильно работающего экструдера	33
1.5.3. Пример 3. Расчеты потоков для неправильно работающего экструдера	34
1.5.4. Резюме по расчету зоны дозирования	36
Условные обозначения	36
Литература	37
2. Полимерные материалы	39
2.1. Введение в историю	39
2.1.1. История природных полимеров	40
2.1.2. История синтетических полимеров	42
2.2. Характеристики синтетических полимеров	44
2.3. Влияние структуры на свойства	47
2.3.1. Стереохимия	50
2.3.2. Температурные переходы плавления и стеклования	51
2.3.3. Степень кристалличности	53
2.4. Технология производства полимеров и реакции	56
2.4.1. Реакции поликонденсации	57
2.4.2. Реакции присоединения	59
2.5. Деструкция полимеров	63
2.5.1. Предельная температура экструзии полимеров	65
2.5.2. Деструкция виниловых полимеров	67
2.5.3. Деструкция поликонденсационных полимеров	70
Литература	71
3. Введение в реологию полимеров для экструзии	73
3.1. Введение в деформацию материалов	73
3.2. Введение в базовое понятие молекулярной массы макромолекулы полимера	74
3.2.1. Пример распределения по размеру	74
3.2.2. Молекулярно-массовое распределение полимеров	76
3.3. Основные понятия реологии	78
3.4. Вязкость расплава полимера и молекулярная масса полимера	83
3.4.1. Пример расчета вязкости расплава	86
3.5. Введение в вязкоупругость	88

3.6. Измерение вязкости полимеров	95
3.6.1. Капиллярные реометры (вискозиметры)	96
3.6.2. Реометры (вискозиметры) «конус–плоскость»	106
3.6.3. Индекс расплава и скорость течения расплава	110
3.7. Вязкость расплавов полимеров как функция молекулярных характеристик, температуры и давления.	112
3.8. Модели для неньютоновского течения	118
Условные обозначения	120
Литература	121
4. Физические свойства полимеров, относящиеся к переработке	123
4.1. Объемная (насыпная) плотность и уплотнение	124
4.1.1. Измерение объемной (насыпной) плотности	125
4.1.2. Измерение характеристик уплотнения полимера	126
4.2. Коэффициент нормальных напряжений	129
4.2.1. Измерение коэффициента нормальных напряжений	130
4.3. Напряжение на границе полосы скольжения	132
4.3.1. Имитатор шнека и измерение напряжения на границе раздела	133
4.4. Поток плавления	135
4.5. Теплоемкость	137
4.6. Теплопроводность и теплопередача	139
4.7. Плотность расплава	140
Условные обозначения	142
Литература	142
5. Работа зоны загрузки одношнекового экструдера	145
5.1. Описание процесса транспортирования твердых частиц	146
5.2. Литературный анализ моделей транспортирования твердых частиц в одношнековом экструдере с гладким цилиндром в зоне загрузки	148
5.2.1. Модель Дарнелла и Мола	151
5.2.2. Модель Тэдмора и Кляйна	152
5.2.3. Модели, разработанные в Университете Кларксона	153
5.2.4. Модель Хена и Спэлдинга	156
5.2.5. Модель Моисея и Томпсона	157
5.3. Современные экспериментальные устройства для исследования транспортирования твердых частиц	157
5.3.1. Устройства для исследования транспортирования твердых частиц в Университете Кларксона	158
5.3.2. Устройство для транспортирования твердых частиц от фирмы <i>Dow</i>	173
5.4. Сравнение модифицированной модели Кэмпбелла–Донтулы с экспериментальными данными	182
5.4.1. Пример расчета транспортирования твердых частиц	187
5.5. Транспортирование твердых частиц в нарезном цилиндре	189
5.5.1. Модели транспортирования твердых частиц в нарезном цилиндре	193
5.6. Примечания к разделу транспортирования твердых частиц	195
Условные обозначения	199
Литература	200

6. Процесс плавления	203
6.1. Степень сжатия и коэффициент уплотнения	205
6.2. Процесс плавления	206
6.2.1. Процесс плавления как функция геометрии шнека	208
6.2.2. Обзор классической литературы	213
6.2.3. Повторный анализ данных плавления, полученных Тэдмором и Клейном	214
6.3. Развитие теории плавления на основе физики вращения шнека	217
6.3.1. Модель плавления для обычной зоны пластикации на основе физики вращения шнека	218
6.3.2. Модели плавления для зон барьерного шнека	233
6.4. Влияние давления на скорость плавления	241
6.5. Одномерное плавление	243
6.5.1. Модель одномерного плавления	246
6.6. Разрушение твердого слоя	249
6.7. Характеристики зоны расплава	254
Условные обозначения	255
Литература	257
7. Течение жидкости в винтовых каналах зоны дозирования	261
7.1. Система координат	261
7.2. Лабораторные наблюдения	264
7.3. Литературный обзор	269
7.4. Разработка линеаризованного анализа потока	274
7.4.1. Пример расчета потока	290
7.5. Оценка потока	293
7.5.1. Моделирование экструдера с диаметром 500 мм, на который подается расплав	295
7.5.2. Переменные параметры экструзии и ошибки	297
7.5.3. Поправки к прямому потоку	303
7.5.4. Моделирование экструдера с диаметром 500 мм и использованием F_c	309
7.6. Переменные, зависящие от выбора системы координат	310
7.6.1. Пример расчета рассеивания энергии	313
7.7. Диссипативное рассеивание энергии и температура расплава полимера в канале	314
7.7.1. Рассеивание энергии и температура в канале при вращении шнека	321
7.7.2. Рассеивание энергии и температура канала при вращении цилиндра	324
7.7.3. Пример расчета повышения температуры для шнекового насоса	325
7.7.4. Коэффициенты теплопередачи	330
7.7.5. Расчет температуры методом контрольного объема	331
7.7.6. Численное сравнение температур для вращения шнека и для вращения цилиндра	334
7.8. Характеристики зоны дозирования	336
Условные обозначения	338
Литература	341
8. Процессы смешения в одношнековых экструдерах	345
8.1. Общие операции по смешению в одношнековых экструдерах	345
8.1.1. Области применения процессов смешения	347

8.2. Процессы диспергирования и распределения при смешении	349
8.3. Основы смешения	351
8.3.1. Измерение степени смешения	353
8.3.2. Экспериментальная проверка качества смеси	354
8.4. Процесс плавления как основной механизм смешения	363
8.4.1. Экспериментальный анализ эффективности плавления и смешения в шнеке	365
8.4.2. Барьерно-винтовые секции смешения и плавления	369
8.5. Процессы и устройства вторичного смешения	369
8.5.1. Разновидности смесителей Мэддока	371
8.5.2. Блистерные смесители кольцевого типа	376
8.5.3. Винтовые смесители	378
8.5.4. Шпильчатые смесители	379
8.5.5. Рукоточные смесители	380
8.5.6. Передаточные смесители	381
8.5.7. Динамические смесители	382
8.5.8. Статические смесители	384
8.6. Смешение суперконцентратов и чистых полимеров	389
8.7. Эффективность смешения и плавления как функция лопастного зазора	392
8.8. Высокое давление при плавлении и агломераты	393
8.9. Влияние давления нагнетания на смешение	393
8.10. Оптимизация напряжения сдвига	394
8.11. Непосредственное смешение одношнековым экструдером	396
Условные обозначения	397
Литература	399
9. Моделирование экструзионных процессов	403
9.1. Правила моделирования	404
9.2. Инженерные методы проектирования пластицирующих шнеков	405
9.2.1. Анализ и моделирование процесса	410
9.3. Моделирование экструдера для изготовления деталей из полиэтилена	410
9.4. Увеличение производительности экструдера со шнеком диаметром 88,9 мм, работающим с ударопрочным полистиролом	414
Условные обозначения	422
Литература	423
10. Введение в диагностику проблем процесса экструзии	425
10.1. Диагностика проблем экструзионного процесса	425
10.2. Выдвижение гипотез и решение проблем	429
10.2.1. Изучение проблемы на примере разработки нового полимерного материала	431
10.2.2. Поиск причины появления поверхностных дефектов изделия	432
10.2.3. Поиск причин проблемы на примере экструзии профиля	433
10.3. Оборудование и инструменты, необходимые для диагностики проблем	435
10.3.1. Эксперимент Мэддока по охлаждению содержимого шнека	437
10.4. Общие механические проблемы	438
10.4.1. Зазор между гребнем витка и поверхностью цилиндра, упрочнение гребня	438

10.4.2. Центрирование цилиндра и шнека	440
10.4.3. Опорные стойки цилиндра экструдера	442
10.4.4. Первичная установка шнека	444
10.4.5. Разрушение шнека	445
10.4.6. Защита от превышения давления	447
10.4.7. Система смазки редуктора	449
10.4.8. Уплотнители для защиты от частиц и вязкостное уплотнение	450
10.4.9. Чистка шнека	452
10.5. Общие электрические и сенсорные проблемы	452
10.5.1. Термопары	453
10.5.2. Датчики давления	453
10.5.3. Электронные фильтры и шум	454
10.6. Двигатели и приводные системы	456
10.6.1. Эффективность двигателей и коэффициент использования мощности	459
10.7. Типичные размеры каналов шнека	460
10.8. Общие расчеты	461
10.8.1. Энергия, превращаемая шнеком в тепло	461
10.8.2. Некоторые характеристики геометрии шнека	462
10.9. Оптимизация температур по зонам цилиндра	464
10.10. Профиль температур по длине шнека	468
10.11. Изготовление шнеков и процесс их восстановления	477
10.12. Пластикаторы литьевых машин	485
10.12.1. Расчеты пластикаторов для литья под давлением	488
10.13. Установка нового оборудования	488
10.13.1. Пример: покупка экструдера большого диаметра	493
10.13.2. Пример покупки линии и экструдера для выпуска нового продукта	494
10.13.3. Заключение по установке нового оборудования	496
Условные обозначения	497
Литература	498
11. Примеси в конечном продукте	501
11.1. Инородные примеси в экструдате	501
11.1.1. Фильтрация расплава	502
11.1.2. Частицы металла в экструдате	507
11.1.3. Пузырьки газа на новых линиях для обработки тонколистовых материалов	507
11.2. Гелеобразование в полиолефинах	508
11.2.1. Протоколы исследования геля	510
11.3. Деструкция полимера в участках застоя в технологическом процессе	516
11.4. Ненадежная остановка технологического оборудования	518
11.5. Очистка технологического оборудования	520
11.6. Захват кислорода в бункере сырья	521
11.7. Радиусы витков винта	522
11.8. Сушка полимеров	525
11.9. Суперконцентраты красителя	526
11.10. Практические исследования процессов экструзии с примесями в конечном продукте	527
11.10.1. Периодические сшитые гели в пленочных продуктах	527

11.10.2. Мелкие гели в пленочном продукте из ЛПЭНП	534
11.10.3. Дегазационные отверстия в бутылках, формованных раздувом	537
11.11. Загрязнение инжекционно формуемых изделий	541
11.11.1. Дефекты искажения в инжекционно формуемых изделиях	541
11.12. Тематические исследования литьевого формования	543
11.12.1. Искажения и плохая очистка окрашенного полимера в инжекционно формуемых изделиях	543
11.12.2. Черные полосы в формованных деталях: первое исследование	548
11.12.3. Черные полосы в формованных деталях: второе исследование	553
11.12.4. Серебряные полосы и пятна в инжекционно формованном упаковочном изделии из непигментированного полистирола общего назначения	558
11.12.5. Проблема литья под давлением на линии компании «Сатурн»	566
Условные обозначения	566
Литература	567
12. Колебание потока	569
12.1. Обзор общих причин возникновения колебания потока	570
12.1.1. Связь между давлением нагнетания и скоростью в формующей головке	571
12.2. Диагностика процессов колебания потока	571
12.3. Зона цилиндра и температурные режимы шнека	572
12.3.1. Водное и воздушное охлаждение зоны цилиндра	574
12.4. Колебания давления, вызванные вращением и геометрией	574
12.5. Регулирование процесса шестеренным насосом	577
12.6. Твердые частицы, блокирующие путь потока	579
12.7. Тематические исследования для процессов экструзии с колебанием потока	579
12.7.1. Ненадлежащий температурный режим зоны цилиндра	580
12.7.2. Оптимизация температур цилиндра для улучшения транспортировки твердых частиц	582
12.7.3. Колебание потока из-за высоких температур в питающей зоне шнека	585
12.7.4. Колебание потока из-за высокой температуры в корпусе зоны подачи	592
12.7.5. Колебание потока из-за плохо спроектированного входа в барьерную зону с использованием полистирола общего назначения	593
12.7.6. Блокировка твердыми частицами на входе в смеситель спирального типа	598
12.7.7. Колебание потока, вызванное износом корпуса загрузочной зоны и новым цилиндром	604
12.7.8. Процесс экструзии с поликарбонатом с колебанием потока	615
Условные обозначения	619
Литература	619
13. Ограничение скорости и экструзии	621
13.1. Поток расплава через вентиляционное отверстие в многоступенчатых экструдерах	623
13.2. Износ шнека	625
13.3. Высокопроизводительные и барьерные шнеки для улучшения скорости	627
13.4. Тематические исследования процессов с ограниченной скоростью	628
13.4.1. Ограничение скорости из-за износа шнека	628
13.4.2. Ограничение скорости из-за твердых фрагментов полимера в экструдате	629

13.4.3. Ограничение скорости температурой нагнетания для экструдера-гранулятора	634
13.4.4. Экструдер большого диаметра, работающий с полистиролом	642
13.4.5. Ограничение производительности из-за температуры нагнетания и крутящего момента при экструзии крахмала	646
13.4.6. Поток через вентиляционное отверстие в двухступенчатом шнеке, работающем с полистирольным сырьем низкой объемной плотности ...	650
13.4.7. Увеличение производительности процесса раздувного формования большой детали	652
Условные обозначения	657
Литература	657
14. Барьерные и высокоэффективные шнеки	659
14.1. Барьерные шнеки	661
14.2. Волновые диспергирующие шнеки	667
14.2.1. Шнеки с двойной волной	667
14.2.2. Энергопередающие шнеки	669
14.2.3. Барьерные энергопередающие шнеки с переменными параметрами	676
14.2.4. Шнеки с ламинарным смешением расплава	680
14.2.5. Шнеки для плавления	684
14.3. Другие высокоэффективные конструкции шнека	684
14.3.1. <i>Stratablend</i> шнеки	685
14.3.2. <i>Unimix</i> шнеки	687
14.4. Расчет удельной скорости вращения	688
Условные обозначения	688
Литература	689
15. Экструдеры с подачей сырья в расплавленном виде	691
15.1. Методы моделирования	691
15.2. Процессы компаундирования	692
15.2.1. Общие проблемы для экструдеров с подачей расплава на линиях компаундирования	695
15.3. Экструдеры большого диаметра с насосом	696
15.3.1. Снижение производительности из-за плохого перемещения материала в зоне подачи экструдера	706
15.3.2. Эксплуатация золотникового клапана	708
15.3.3. Инертирование азотом камеры дегазационного отверстия	709
15.4. Вторичные экструдеры для тандемных линий по производству листовых пенопластов	709
15.4.1. Высокопроизводительные охлаждающие шнеки	714
Условные обозначения	718
Литература	718