

注射成型手册

[美] T.A. 奥斯瓦德 L. 特恩格 P.J. 格尔曼 编著

吴其晔 等译



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

注射成型手册

[美] T. A. 奥斯瓦德 L. 特恩格 P. J. 格尔曼 编著

吴其晔 等译



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

注射成型手册/[美]奥斯瓦德(Osswald, T. A.), [美]特恩格(Turng, L.)
[美]格尔曼(Gramann, P. J.)编著;吴其晔等译. —北京:化学工业出版社,
2005. 2

书名原文: Injection Molding Handbook
ISBN 7-5025-6586-8

I. 注… II. ①奥… ②特… ③格… ④吴… III. 注射成型-技术手册
IV. TQ320.66-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 004239 号

Injection Molding Handbook/Edited by T. A. Osswald, L. Turng, P. J. Gramann.
ISBN 3-446-21669-3

Copyright © 2002 by Carl Hanser Verlag. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by Carl
Hanser Verlag.

本书中文简体字版由 Carl Hanser Verlag 出版公司授权化学工业出版社独家
出版发行。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2003-0204

注射成型手册

[美] T. A. 奥斯瓦德 L. 特恩格 P. J. 格尔曼 编著
吴其晔 等译
责任编辑: 武志怡
文字编辑: 麻雪丽
责任校对: 王素芹
封面设计: 于剑凝

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
发行电话: (010) 64982530
[http:// www.cip.com.cn](http://www.cip.com.cn)

*

新华书店北京发行所经销
北京云浩印刷有限责任公司印刷
三河市前程装订厂装订
开本 720mm×1000mm 1/16 印张 40½ 字数 728 千字
2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-6586-8/TQ·2147
定 价: 78.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

序 言

在美国，注射成型加工领域的总产值每年达 2000 亿美元，属于第四大工业领域。今天，有超过 $1/3$ 的塑料原材料，每年大约近 150 亿磅，是通过注射成型工业加工的。

这本《注射成型手册》主要为工程师、工艺与设备研究人员以及具有不同专业背景的其他技术人员编写。它不仅是引导人们熟悉注射成型的导论性读物，还是实验工作者不可缺少的参考书。该手册给出了关于注射成型加工设备和技术及有关化学、物理学、材料科学、工程学方面全面的、最新的观点。它覆盖了与注射成型加工直接有关的所有焦点问题，如注射成型材料、过程控制、模拟技术、设计和故障检修。

该手册还对控制注射成型过程变化的潜在理论和物理学给出一个丰富多彩的总揽，同时不失重视实践的风格，这一点贯穿全书的始终。本书作者是精心挑选的本领域的专家以及在工业界和科技界的研究人员和实践家。

本书前 3 章介绍基本知识，包括基本工作原理和材料，介绍了加工过程对最终制品性能的影响。第 4~第 6 章介绍注射成型机械，包括塑化装置、合模装置和注塑模具。原材料预处理在第 7 章介绍，与注射成型相关的统计过程控制在第 8 章介绍。第 9 章对特种注射成型过程进行了深入介绍。制品设计和注射成型模拟分别在第 10 章、第 11 章介绍。最后两章着重介绍过程和材料的故障处置，这对本工业领域任何一个部门的工作人员，无论是加工者或制品设计者都是十分有用的。

我们衷心感谢本书制作过程中任何一位帮助过我们的朋友。当然首先要感谢本书的所有合著人，他们是 John Beaumont, John Bozzelli, Bruce Davis, Mauricio DeGreif, Robert Farrel, Lukas Guenthard, Geoffrey Holden, Chris Rauwendaal, Antoine Rios, Michael Sepe, Treasa Springett, Raghu Vadlamudi 和 Jerry Wickmann。他们不仅按时递交高质量的稿件，而且在整个出书阶段随时交换意见。我们还要感谢 Lynda Litzkow 和 Angela Maria Ospina，她们为本书制作了一些精美插图。我们衷心感谢 Carl Hanser 出版社的 Wolfgang Glenz 和 Christine Strohm，感谢他们在本书制作过程中的大力支持，感谢 Barbara Chernow 及其同事为本书打字和复印。对于我们

的夫人 Diane Osswald, Stephanie Gramann 和 Michelle Turng, 我们感谢她们永恒的爱和支持。

蒂姆 A. 奥斯瓦德, 保罗 J. 格尔曼和李胜 (汤姆) · 特恩格

Madison, 威斯康星州

2001 年夏

译者序

美国威斯康星州聚合物工程中心机械工程部 Tim A. Osswald 等人于 2001 年合著出版的《注射成型手册》是一本内容广泛、知识新颖、理论与实践并重、科研与生产皆宜的工具书。作者均为国际知名的聚合物工业领域的高级专家，具有丰富的实践积累和扎实的理论功底。

作者在序言中已对全书内容作了概括性总结。译者在通读全书之后体会到，作为一本手册型的工具书，它不仅具有一般手册内容全面、条目清晰、文字简练、便于查询的特点，而且还重点突出地讨论了与注射成型过程质量、产量、效益有关的众多焦点问题及其解决方法。不仅适合于聚合物加工工艺工程师阅读，而且为制品和模具设计师及机械工程师开发研究新产品提供了宝贵的参考资料。书中对大量新技术、新方法的介绍，如各种新颖的特种注射成型工艺；统计法控制过程（SPC）；制品和模具设计及注射成型模拟；各种故障处理等给译者留下了深刻印象。译者在翻译过程中确实也学到许多新知识。书中大量的图片和丰富的文献资料也将对读者大有裨益。

本书序言及第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 7 章、第 12 章由吴其晔教授翻译；第 4 章、第 5 章由巫静安教授翻译；第 6 章由胡海明副教授翻译；第 8 章、第 10 章、第 11 章由刘彦昌副教授翻译；第 9 章由李旭东副教授翻译；第 13 章由王新副教授翻译。全书由吴其晔教授统一校对。正如本书的作者人数众多，我们多名译者也是风格各异。尽管我们竭尽全力希望遵照“信、达、雅”的准则准确完整地表达出原著的内容，但因能力所限，书中缺陷之处在所难免，敬请各位专家、读者不吝赐教。

翻译过程中，得到化学工业出版社编辑的大力协助；译者的诸多研究生王建新、熊忠、陈骁、温学明、李鹏、陶雪钰、张松给予译者许多帮助；青岛科技大学张军教授参与了若干有益的讨论，译者谨此一并表示衷心感谢。

吴其晔

2004 年 9 月于青岛石老人国家旅游度假区科大花园

E-mail: qiyewu@public.qd.sd.cn

内 容 提 要

本手册以流畅的语言给出了关于注射成型加工设备和技术、有关化学、物理学、材料科学及工程学方面全面的最新的观点。它覆盖了与注射成型加工直接有关的所有焦点问题。前3章介绍了基本工作原理和材料及加工过程对最终制品性能的影响；第4~第6章介绍了注射成型机械；第7章介绍了原材料预处理；第8章讲述了与注射成型相关的统计过程控制；第9章对特种注射成型过程进行了深入研究；第10章、11章介绍了制品设计和注射成型模拟；12章、13章介绍了加工过程的故障检修和材料问题的诊断处理。

本书适用于从事塑料成型的加工和设计人员使用。

目 录

1 绪论	1
1.1 历史背景	1
1.2 往复式螺杆注射成型机	8
1.2.1 塑化和注射装置	8
1.2.2 合模装置	9
1.2.3 模具型腔	10
1.3 注射成型循环	12
1.4 相关的注射成型过程	15
参考文献	16
2 注射成型用原材料	17
2.1 历史背景	17
2.2 大分子链结构	22
2.3 分子量	24
2.4 分子链构型与构象	27
2.5 热塑性高分子材料	30
2.5.1 无定型热塑性塑料	30
2.5.2 半结晶型热塑性塑料	32
2.5.3 几种常见的热塑性塑料	40
2.6 热固性高分子材料	43
2.6.1 交联反应	43
2.6.2 常见的热固性树脂	44
2.7 共聚合高分子材料和高分子共混物	45
2.8 弹性体	46
2.9 有效交联体系	47
2.10 热塑性弹性体	48
2.10.1 几个重要温度	49
2.10.2 几种常见的热塑性弹性体	50
参考文献	55

3 加工原理	58
3.1 加工参数.....	58
3.1.1 温度设定.....	59
3.1.2 注射压力和保压压力设定.....	60
3.1.3 干燥.....	61
3.1.4 热塑性弹性体的加工参数.....	62
3.1.5 热固性树脂的加工参数.....	65
3.1.6 弹性体的加工参数.....	66
3.2 聚合物熔体流变学.....	67
3.2.1 聚合物的剪切变稀行为.....	67
3.2.2 注射成型中常见的简单流动.....	68
3.2.3 注射压力和合模力的估算 (Stevenson 模型)	71
3.2.4 聚合物加工中的非等温流动.....	76
3.2.5 剪切流动中的法向应力.....	76
3.2.6 Deborah 准数	77
3.2.7 热固性树脂固化时的流变性质.....	78
3.2.8 悬浮液的流变性质.....	79
3.3 流变测量.....	80
3.3.1 熔体流动指数.....	80
3.3.2 毛细管流变仪.....	81
3.3.3 毛细管流变仪测量黏度.....	81
3.4 加工中出现的各向异性.....	83
3.4.1 最终制品中的取向现象.....	83
3.4.2 纤维的损伤.....	90
3.5 固化过程和硫化过程.....	92
3.5.1 热塑性塑料的固化.....	92
3.5.2 热固性树脂的固化	100
3.5.3 残余应力、收缩和翘曲	105
参考文献.....	109
4 塑化	112
4.1 塑化装置	112
4.1.1 柱塞式挤出机	113
4.1.2 往复式螺杆	113
4.2 塑化装置的功能	125

4.2.1	固体输送	125
4.2.2	熔融或塑化	129
4.2.3	熔体输送	135
4.2.4	排气装置	140
4.2.5	混合	140
4.3	结论	155
	参考文献	155
5	合模装置	157
5.1	金属疲劳及其在合模装置设计中的重要性	157
5.1.1	合模装置设计的重要性	157
5.1.2	关于金属疲劳的研究综述	158
5.1.3	金属疲劳的三个阶段	158
5.1.4	针对金属疲劳确定设计应力	159
5.1.5	确定可靠因子	166
5.1.6	关于金属疲劳的几点结论	168
5.2	合模装置的功能	168
5.3	合模装置的三种类型	168
5.3.1	液压式	168
5.3.2	液压-机械式	169
5.3.3	机械式	170
5.3.4	肘杆类型	171
5.4	合模机构的关键部件	173
5.4.1	模板	173
5.4.2	拉杆和拉杆螺母	179
5.4.3	肘杆轴销和轴衬	187
5.4.4	拉杆轴衬	189
5.4.5	动模板支座	190
5.4.6	闭模高度的调整	193
5.4.7	顶出机构	194
5.5	关于拉杆设计的讨论	195
5.5.1	拉杆的重要性	195
5.5.2	螺纹载荷分布	196
5.5.3	螺纹弯曲应力	196
5.5.4	螺纹轴向应力	198

5.5.5	应力的合成	199
5.5.6	调节因子	199
5.5.7	改善设计的方法	200
5.6	关于合模机构弹性率(硬度)的理解	202
5.6.1	如何确定合模机构的弹性率	202
5.6.2	合模机构弹性率的重要性	203
5.7	肘杆合模系统的数学模型	204
5.8	Farrell 平方根法则	208
5.8.1	由 Farrell 平方根法则得到的关系	209
5.8.2	整机可按平方根法则设计	210
	参考文献	210
6	模具设计	212
6.1	标准模具装配	213
6.2	冷流道模具	215
6.2.1	二板式冷流道模具	215
6.2.2	三板式冷流道模具	216
6.3	热流道模具	219
6.3.1	外加热分流道板和外加热喷嘴	221
6.3.2	带内加热喷嘴的外加热分流道板	221
6.3.3	内加热分流道板和内加热喷嘴	222
6.3.4	绝热的分流道板和喷嘴	223
6.3.5	多样化的热流道系统设计	224
6.3.6	热注浇口	224
6.3.7	热喷嘴	225
6.3.8	使用热流道模具需特别考虑的问题	228
6.3.9	叠腔模具	232
6.4	流道设计	233
6.4.1	冷流道设计	234
6.4.2	几何形平衡流道中的流道平衡(冷、热流道)	235
6.4.3	非几何形的平衡流道布置	242
6.5	浇口设计	244
6.5.1	浇口类型	245
6.5.2	浇口位置	251
6.6	长寿命和高刚度模具的结构设计	253

6.6.1	模具材料的选择	253
6.6.2	疲劳	255
6.6.3	型腔侧壁的变形	255
6.6.4	型芯偏移	255
6.6.5	垫板的变形	256
6.7	模具冷却	258
6.7.1	实际设计中考虑的因素	259
6.7.2	热膨胀	261
6.7.3	串联、并联冷却管路	261
6.7.4	挡板冷却器和喷管冷却器	264
6.8	模具顶出系统	265
6.8.1	顶出的基本问题	265
6.8.2	顶出方式	268
6.8.3	顶出需要考虑的问题	270
6.8.4	顶出设计	271
6.9	排气设计	277
	参考文献	279
7	原材料预处理及辅助准备工序	280
7.1	干燥	280
7.2	料斗装料	283
7.3	清洁室	285
7.4	计量和混合	286
7.5	输送系统	289
7.6	冷却和深冷	290
8	统计法控制过程	292
8.1	统计法控制过程	293
8.1.1	统计法控制过程的实施	293
8.1.2	基本统计概念	295
8.2	控制图	301
8.2.1	引言	301
8.2.2	变量数据的控制图	301
8.2.3	属性数据的控制图	307
8.3	过程能力和用于模塑成型的特殊 SPC 工具	308
8.3.1	引言	308

8.3.2	能力指数	310
8.3.3	计算机的应用	311
8.3.4	用于注射成型过程的特殊 SPC 技术	313
	参考文献	317
9	特种注射成型工艺	318
9.1	共注射成型 (三明治式)	320
9.1.1	工艺说明	321
9.1.2	工艺优点	324
9.1.3	工艺缺点	325
9.1.4	适用材料	325
9.1.5	典型应用	327
9.2	熔芯 (失芯、溶芯) 注射成型	327
9.2.1	工艺说明	327
9.2.2	工艺优点	329
9.2.3	工艺缺点	330
9.2.4	适用材料	330
9.2.5	典型应用	330
9.3	气体辅助注射成型	331
9.3.1	工艺说明	331
9.3.2	工艺优点	334
9.3.3	工艺缺点	335
9.3.4	适用材料	336
9.3.5	典型应用	337
9.4	注射-压缩成型	338
9.4.1	工艺说明	338
9.4.2	工艺优点	339
9.4.3	工艺缺点	340
9.4.4	适用材料	340
9.4.5	典型应用	340
9.4.6	注射-压缩成型的计算机模拟	340
9.5	模内装饰和模内层压	341
9.5.1	工艺说明	341
9.5.2	工艺优点	343
9.5.3	工艺缺点	344

9.5.4	模具设计和工艺注意事项	344
9.5.5	适用材料	345
9.5.6	典型应用	346
9.6	嵌件和外嵌成型	347
9.6.1	嵌件成型工艺说明	348
9.6.2	外嵌成型工艺说明	349
9.7	层状(微层)注射成型	350
9.7.1	工艺说明	350
9.7.2	工艺优点	352
9.7.3	工艺缺点	352
9.7.4	适用材料	352
9.7.5	典型应用	353
9.8	低压注射成型	353
9.8.1	工艺说明	353
9.8.2	工艺优点	356
9.8.3	工艺缺点	358
9.8.4	适用材料	359
9.8.5	典型应用	359
9.9	微注射成型	359
9.9.1	工艺说明	359
9.9.2	工艺优点	362
9.9.3	工艺缺点	362
9.9.4	适用材料	362
9.9.5	典型应用	362
9.10	微发泡成型	363
9.10.1	工艺说明	363
9.10.2	工艺优点	365
9.10.3	工艺缺点	366
9.10.4	适用材料	366
9.10.5	典型应用	366
9.11	多组分注射成型	366
9.11.1	工艺说明	367
9.11.2	工艺优点	368
9.11.3	工艺缺点	368

9.11.4	适用材料	369
9.11.5	典型应用	369
9.12	多点活动喂入注射成型	370
9.12.1	工艺说明	371
9.12.2	工艺优点	371
9.12.3	工艺缺点	372
9.12.4	适用材料	373
9.12.5	典型应用	374
9.13	推-拉注射成型	374
9.13.1	工艺说明	374
9.13.2	工艺优点和缺点	376
9.13.3	适用材料	376
9.13.4	典型应用	376
9.14	粉末注射成型	377
9.14.1	工艺说明	377
9.14.2	工艺优点	379
9.14.3	工艺缺点	379
9.14.4	典型应用	380
9.15	反应注射成型	380
9.15.1	工艺说明	381
9.15.2	工艺优点	382
9.15.3	工艺缺点	382
9.15.4	适用材料	382
9.15.5	典型应用	382
9.16	树脂传递模塑和结构型 RIM	383
9.16.1	工艺说明	383
9.16.2	工艺优点	384
9.16.3	工艺缺点	385
9.16.4	适用材料	385
9.16.5	典型应用	385
9.17	流变成型	386
9.17.1	工艺说明	386
9.17.2	工艺优点	387
9.17.3	工艺缺点	387

9.18	结构泡沫注射成型	387
9.18.1	工艺说明	388
9.18.2	工艺优点	390
9.18.3	工艺缺点	391
9.18.4	适用材料	391
9.18.5	典型应用	392
9.19	薄壁成型	393
9.19.1	工艺说明	394
9.19.2	工艺优点	396
9.19.3	工艺缺点	397
9.19.4	适用材料	397
9.19.5	典型应用	397
9.20	振动气体注射成型	397
	工艺说明	397
9.21	橡胶注射	398
9.21.1	橡胶成型工艺	398
9.21.2	橡胶注射工艺的硫化体系	400
	参考文献	402
10	塑料制品设计	408
10.1	设计过程	408
10.2	塑料制品设计的四个结构模块	412
10.2.1	原材料	412
10.2.2	产品设计	421
10.2.3	模具设计和制造	423
10.2.4	加工工艺	424
10.3	注塑制品设计准则	436
10.3.1	设计主要的壁	437
10.3.2	肋、筋和凸台	440
10.3.3	凸台	443
10.3.4	拐角、倒角和半径	445
10.3.5	锥度和脱模角	445
10.3.6	凹切和孔	446
10.3.7	浇口和工艺考虑	449
10.3.8	型芯	449

10.3.9 避免相框特征.....	450
10.3.10 整体铰链	451
10.4 制品设计实例.....	452
10.5 制品成本估计.....	455
参考文献.....	458
11 模拟技术	459
11.1 历史背景.....	460
11.2 基本方程.....	462
11.2.1 流动模型.....	463
11.2.2 取向模型.....	465
11.2.3 传热模型.....	466
11.2.4 本构方程.....	467
11.3 数值方法.....	469
11.3.1 有限差分法.....	470
11.3.2 有限元法.....	470
11.3.3 边界元素法.....	471
11.4 简化计算.....	472
11.4.1 基于有限差分的计算.....	472
11.4.2 基于实体模型的计算.....	473
11.4.3 基于模具的计算.....	476
11.5 高级计算.....	477
11.5.1 商业软件.....	478
11.5.2 特殊计算.....	482
11.6 注射-压缩成型	484
11.6.1 热塑性材料的注射-压缩成型	486
11.6.2 热固性材料的注射-压缩成型	486
11.7 全三维建模及其假定.....	487
11.8 成型过程的优化.....	488
11.8.1 浇口优化.....	488
11.8.2 主动过程控制.....	488
11.9 结束语.....	489
参考文献.....	490
12 加工过程的故障检修	491
12.1 故障检修简介.....	491