

SULIAO CHANPIN SHEJI HE JIAGONG GONGCHENG

塑料产品设计 和加工工程

[美] 哈罗德·贝罗夫斯基 著

化学工业出版社

材料科学与工程出版中心



塑料产品设计和加工工程

[美] 哈罗德·贝罗夫斯基 著

周南桥 吴宏武 晋刚 田野春 等译

吴舜英等校

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
图字 01-98-1856 号

图书在版编目 (CIP) 数据

塑料产品设计和加工工程/[美]哈罗德·贝罗夫斯基著;
周南桥等译. --北京:化学工业出版社, 2000. 10
书名原文: Plastics: Product Design and Process Engineering
ISBN 7-5025-2933-0

I. 塑… II. ①贝…②周… III. ①塑料制品-设计②塑料制品-生产工艺 IV. TQ320

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 37690 号
英语版: c Hanser Publishers, 1995

塑料产品设计和加工工程

[美] 哈罗德·贝罗夫斯基 著
周南桥 吴宏武 晋刚 田野春等译
吴舜英等校
责任编辑: 白艳云
责任校对: 陶燕华
封面设计: 蒋艳君

*

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) 64982511
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
化学工业出版社印刷厂印刷
三河市前程装订厂装订
开本 850×1168 毫米 1/32 印张 18³/₄ 字数 522 千字
2000 年 10 月第 1 版 2000 年 10 月北京第 1 次印刷
印 数: 1—2000
ISBN 7-5025-2933-0/TQ·1275
定 价: 40.00 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

译 者 序

《塑料制品设计和加工工程》是由美国塑料工程师协会 (SPE) 资助、担保, 由阿克隆大学哈罗德·贝罗夫斯基教授编著的。

本专著不仅全面系统介绍挤出、注塑、吹塑、流延成型、粉末涂覆成型、复合物成型、泡沫塑料成型、混配、混合、分散加工以及制品设计、模具设计指南、环境及回收利用等, 而且还详细论述了聚合物分子结构、物化性能及测试方法, 这无疑对没有受到聚合物工艺正规教育而从事聚合物成型加工的工程技术人员是非常有帮助的。

总之, 该专著从聚合物物化性能及选用、制品设计、模具设计基础、成型工艺参数选择、成型机械操作等进行了详细论述, 是一部内容详尽、理论与实践紧密结合, 反映了当今塑料成型最新技术的专著, 适合于从事聚合物成型加工及相关专业的高等院校师生及工程技术人员参考。

本书共分十八章, 田野春译序及第六章、第七章, 校第十一章、第十三章、第十五章、第十六章、附录; 潘慧译第一章至第四章; 曹贤武译第五章; 周南桥译第八章、第十四章及附录, 校习题; 吴宏武译第九章、第十章及习题, 校第十七章、第十八章; 何和智译第十一章; 刘磊译第十二章; 吴启保译第十三章; 彭响方译第十五章; 晋刚译第十六章、第十七章、第十八章。全书由周南桥统稿, 吴舜英校序、第一章至第十章、第十二章、第十四章。

限于译者水平, 对译文不妥之处, 敬请读者批评指正。

2000 年 1 月

前 言

塑料工程师协会(SPE)很高兴资助和担保哈罗德·贝罗夫斯基教授所著的《塑料制品设计和成型工艺》。这本书在给高、低年级学生讲授塑料工艺课程中获得广泛肯定,此书对未正式上过聚合物工艺课程的工程师具有一定的参考价值。

SPE 通过其技术组委员会,一直长期资助出版有关塑料各个方面的著作。其覆盖的范围从补充作者和核实所需的内容到审阅、批准和出版新书。

SPE 的全部活动,不仅在著作的出版中,而且也在其他领域如技术会议的资助和教育计划的实施。此外,协会出版了许多期刊,包括塑料工程、聚合物工程和科学、聚合物成型和流变学、乙烯工艺和聚合物复合材料期刊,以及会议集和其他出版物,所有这些都经受了严格的技术审阅过程。

拥有 38000 名从事塑料的工程师、科学家和技术专家使 SPE 成为全球型的最大组织,欲知详情可从在 14 Fairfield Drive, Brookfield, Connecticut 06804 USA 的协会得到。

塑料工程协会临时执行主席:米歇尔 R. 卡培罗蒂

序 言

“对于生活和欢乐，对于事物和知识的好奇，赞美是灵丹妙药”

沃特·惠特曼

此书的读者是以下领域的教程中的高、低年级学生：机械工程、机械工程技术、聚合物工程、聚合物工程技术和制造工程。此书对于没有接受聚合物工艺正规课程的工程师和具有广泛兴趣的人都是有价值的。

作者在阿克隆大学教书，聚合物科学和工程的课程是研究生水平的学生上的，而且已很多年，已成为此大学教程的一个特色，这个大学作为此领域的研究中心而闻名。近年来该校才对机械工程和机械工程技术专业的学生提供聚合物设计和成型的本科课程。这是因对聚合物工业和对所有机械工程师有超越聚合物的选择、设计、制造成型基础知识的需要的重要性认识太迟。相似的情况，没有本科聚合物工程或相对新的课程在美国的许多大学和其他地方存在。许多普通的技术学院确实对他们两年制大专生提供塑料工艺课程，但这些基本上是侧重于介绍而不是此书所计划的。

对于大学课程，为全面准确地了解此书，先决条件是先了解材料强度、基础材料科学或金属学、一年级的机械设计、化学引论和基础课程。对于自学，此书提供了大量的示例和参考文献。课程的理解是该书许多主题出现所需的，尽管对所有学生并不要求精通微分方程推导，但指导教师可选择合适的内容和作业题，此书保留了主题的选择和范围。

聚合物工艺，如果排除聚合物化学、工程、复合，主要是机械工程活动。然而，有吸引力的特色是其确为综合训练，优秀的聚合物工程师对有机化学、显微镜、模具设计、机械自动化、液压、微处理器、工程经济学、应力分析和传热感兴趣，此书或多或少涉及了所有这些

方面和更多的内容，并试图强调基本思想与工程和聚合物科学其他分支的联系。对未来的工程师，而不是科学家而言，对工程任务需传授的技能和知识所选主题为：聚合物的选用、产品设计、模具设计基础、成型机械操作及设计和成型的内在独立性，近来主要描述了新材料和新成型，历史和一般关注的项目已包含并进行了补充。书完成后的一些问题可能更适合学工程的学生而不是学工程技术的学生，指导教师可根据布置作业进行判断。作者对读者提供的问题和案例研究深表感谢。

作者尝试依靠设计的材料传递其对这个主题的热情以在读者中激起好奇心和对奇事的敏感（例如，第二章中有关碳-碳链的部分）。这样，书中不是每件事都直接针对“实际”用途。可能的话，现象上的事物与化学构型或大分子构象相联系，但这种解释是有缺陷的，书中鼓励学生和教师去探索，这种讨论引出的问题可能比答案本身更重要。

为使出书更精练，对橡胶、热固性塑料、复合物、胶粘剂、整理过程和工业中一些其他的重要部分的全面论述（如热塑性塑料工艺更详细的论述）较少。如果强调基础，学生将能理解，但变化是不可避免的，要是不从事热塑性塑料，部分表列材料数据和相似的项目容易从其他参考书得到的将受到了限制。专用设备的叙述，可在大量的公开资料中获得，也进行了简单叙述，更详细的资料可从参考书和制造商处获得。

基于此书的讲座被强烈要求补充相应的聚合物测试和成型实验室课程。从书的草稿得到的经验指出第一章～第九章的大部分，加上第十六章和第十七章，可覆盖一个3学分的学期。增加的材料可在以后的实验室课程中讨论，但两学期的讲课是需要的，以便更完整的覆盖，特别是增加设计课程。

聚合物工业的重要性和复杂性将可能持续地快速增长。大量有技术和热情的工程技术人员将需要承担富有吸引力、安全、经济和有利可图的产品制造。自然资源必须受到保护，使用经济的再生制品并保护环境。希望此书将有助于教育那些将从事此重要工作的人们。

最后是有关此书所用的单位体系。作者在咨询了出版商和其他人后，主要使用国际单位制，但在一些情况下用美国通用单位或混合单位。

内 容 提 要

本书不仅全面系统介绍挤出、注塑、吹塑、流延成型、粉末涂覆成型、复合物成型、泡沫塑料成型、混配、混合、分散加工以及制品设计、模具设计指南、环境及回收利用等,而且还详细论述了聚合物分子结构、物化性能及测试方法。该书是一部内容详尽、理论与实践紧密结合,反映当今塑料成型最新技术的专著,适于从事聚合物成型加工及相关专业的高等院校师生及工程技术人员参考。

目 录

第一章 绪论	1
1.1 聚合物的定义	1
1.2 塑料的优缺点	9
1.3 技术信息和标准的来源	16
第二章 聚合物化学及分类	18
2.1 概述	18
2.2 碳-碳主键	19
2.3 分子间次价键	24
2.4 按来源分类	27
2.5 按加工方法分类	27
2.6 按化学家族分类	28
2.7 按聚合方法分类	31
2.8 工业聚合方法	39
2.9 按物理构象分类	41
2.10 交联聚合物	46
2.11 配料组分——添加剂和填充剂	47
2.12 其他物化性能	51
2.13 聚合物命名	51
第三章 晶体的结构与形态	53
3.1 概述	53
3.2 结晶均聚物	54
3.3 球晶的微观结构	57
3.4 玻璃态或无定形聚合物的形态	60
3.5 共聚物和共混物的微观结构	61
3.6 结晶度的测定	62
3.7 取向测定	64
3.8 聚合物显微技术	65

3.9	热转变：熔融	66
3.10	热转变：玻璃化转变	67
3.11	结晶的控制	71
3.12	退火	73
第四章	聚合物的物理化学特性	75
4.1	概述	75
4.2	平均分子量的定义	75
4.3	分子量以及相对分子量分布的测定	80
4.4	分子量对塑料性能的影响	82
4.5	热分析测试表征	83
4.6	化学仪器分析	89
第五章	固态聚合物的力学性能	91
5.1	概述	91
5.2	短时间内的拉伸性能	91
5.3	基本应力-应变关系综述	96
5.4	模量精确极限内的设计	100
5.5	弯曲性能-弯曲模量的应用	101
5.6	温度、应变速率、分子量和交联对短期力学性能的影响	102
5.7	粘弹性模型	105
5.8	蠕变数据的产生及应用	111
5.9	玻尔茨曼 (Boltzmann) 叠加原理	118
5.10	动态性能	120
5.11	应力集中和疲劳	123
5.12	断裂力学	127
5.13	冲击性能	131
5.14	韧性-脆性转变 (韧脆转变)	134
5.15	硬度和耐磨性能	136
5.16	安全因子和工作应力	138
第六章	耐热和耐化学性、电、光和其他非力学性能	141
6.1	概述	141
6.2	短期热性能	141
6.3	低温硬化	145
6.4	长期热降解	146

8.9	屏障螺杆	236
8.10	两阶螺杆排气挤出机	237
8.11	硬管、软管、电线覆层模头和后续设备	238
8.12	片材挤出	242
8.13	取向平膜挤出	244
8.14	吹塑薄膜挤出	247
8.15	单丝和纤维挤出	249
8.16	橡胶挤出	252
8.17	热塑性塑料型材模头设计	253
8.18	后成型操作	255
8.19	操作技巧和故障排除	257
第九章	注塑	258
9.1	概述	258
9.2	操作循环	259
9.3	注塑机结构细节	268
9.4	注塑机等级	276
9.5	模具基本结构	279
9.6	模具零件设计	284
9.7	充模和制品冷却时间的估计	300
9.8	成型过程中的取向	310
9.9	注塑中的收缩	318
9.10	热塑性塑料注塑故障的排除	323
9.11	纤维增强与填充热塑性塑料的注塑	326
9.12	特殊注塑机与注塑工艺	327
9.13	热固性塑料的注塑	334
9.14	注塑中的计算机辅助工程	337
第十章	吹塑	338
10.1	概述	338
10.2	挤出吹塑	341
10.3	注射吹塑	347
10.4	注射拉伸吹塑	348
10.5	成型详解	351
10.6	壁厚和型坯厚度的关系	356

10.7	模具结构详解	357
10.8	共挤出吹塑	358
第十一章	其他热塑性塑料成型	361
11.1	概述	361
11.2	热成型	361
11.3	滚塑	371
11.4	铸塑成型	377
11.5	粉料涂层成型	380
11.6	原型制模过程	384
11.7	辅助过程——干燥	386
第十二章	聚合物的材料和性能	390
12.1	概述	390
12.2	聚合物复合材料的优点及局限性	392
12.3	纤维复合物的机械性能	394
12.4	偏离轴 M 的负载和斜片层压	399
12.5	短纤维增强理论	401
12.6	增强纤维	405
12.7	纤维及其构造形式	408
12.8	热固性塑料	410
12.9	SMC、TMC 和 BMC 的生产	418
12.10	夹芯板	423
12.11	可冲压热塑性复合片材	423
12.12	长纤维、可注塑的热塑性材料	424
第十三章	聚合物复合材料成型加工	426
13.1	概述	426
13.2	敞模成型	426
13.3	长丝缠绕成型	430
13.4	气袋施压成型	432
13.5	预制整体模塑料和片状模塑料的压塑成型	434
13.6	反应注塑	437
13.7	树脂压铸	441
13.8	拉挤成型	442
第十四章	泡沫塑料和泡沫塑料加工	446

14.1	概述	446
14.2	发泡聚合物的一般性能和用途	449
14.3	泡沫塑料加工	455
14.4	可发泡聚苯乙烯发泡成型	456
14.5	RIM 发泡成型	457
14.6	结皮发泡成型——低压加工	458
14.7	结皮泡沫塑料成型——可扩张模具的成型加工	459
14.8	结皮泡沫塑料设计指南	461
第十五章	配混、混合和分散加工	464
15.1	概述	464
15.2	干混	464
15.3	熔融混合机理	467
15.4	分批混合	468
15.5	连续混合工艺	471
15.6	配混计算	473
第十六章	材料选择、工艺选择和制品设计指南	475
16.1	概述	475
16.2	材料选择的通用规则	475
16.3	热塑性塑料种类的性能比较	484
16.4	热固性塑料的性能比较	493
16.5	热塑性塑料成型选择指南	494
16.6	热固性塑料成型选择指南	506
16.7	制品设计指南	507
16.8	零件公差	518
第十七章	设计塑料机械零件	521
17.1	概述	521
17.2	塑料轴承	521
17.3	塑料齿轮	524
17.4	塑料管材和软管	529
第十八章	环境问题	533
18.1	概述	533
18.2	聚合物废物贮放方法调查	534
18.3	回收相同或相似的产品	537

18.4	回收制成低要求的产品	540
18.5	解聚合	542
18.6	焚化	543
18.7	生物降解	547
18.8	资源节约	549
18.9	再生与回收设备和加工	549
18.10	热固性合成物、轮胎和汽车零件的处理	553
附录		555
A.1	单位和术语	555
A.1.1	单位换算	555
A.1.2	国际单位制和厘米-克-秒制中一些基本物理常数	557
A.1.3	国际单位制和米制单位词头	557
A.1.4	希腊字母表	557
A.2	塑料和橡胶缩写	557
A.3	快速鉴别指南	559
A.3.1	塑料的快速鉴别指南：火焰试验法	559
A.3.2	塑料的快速鉴别指南：溶解试验法	560
A.4	故障维修	560
A.4.1	片材挤出故障维修	560
A.4.2	异型材挤出故障维修	562
A.4.3	注塑故障维修	563
A.5	参考文献	572
A.5.1	聚合物科学和技术参考书	572
A.5.2	计算机辅助工程参考文献	575

第一章 绪 论

1.1 聚合物的定义

热塑性塑料是本书的主题，但它们仅仅是多种多样的聚合物材料中的一类。许多熟悉的产品；天然或人造的，都是由聚合物组成的。

- 纸——纤维素，一种天然聚合物
- 牙刷毛——挤出成型的热塑性尼龙丝
- 牙刷柄——模塑成型的热塑性尼龙
- 胶粘剂（把牙刷毛粘在柄上）——热固性环氧树脂
- 降落伞布——可纺尼龙纤维
- 录像带——热塑性塑料薄膜挤出成型
- 饮料瓶——热塑性塑料吹塑成型
- 计算机外壳——热塑性塑料注塑成型
- 壶柄——热固性塑料模压成型
- 胶带——硫化橡胶挤出
- 木工白乳胶——胶乳水溶液
- 医用手套——硫化胶乳橡胶
- 硅酮——硅基热塑性塑料
- 信用卡——热塑性塑料币
- 面条——淀粉，一种天然生物降解聚合物
- DNA——双螺旋可控生物细胞

该清单目的是说明所有塑料都是聚合物，但并非所有聚合物都是塑料。实际上，人造或合成聚合物的分类更具技术性，如热塑性塑料、热固性塑料及硫化橡胶。生物高分子通常很复杂，需具有自己独特的分类方法。合成聚合物各类的区别在第二章、第三章叙述它们的分子结构之后将会更清楚。目前称为“聚合物”就足够明确了。