



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



高分子科学与工程系列教材
中国石油和化学工业优秀教材奖

高分子加工原理与技术

● 王小妹 阮文红 编

第二版

Chemical Industry Press



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高分子科学与工程系列教材

高分子加工原理与技术

第二版

王小妹 阮文红 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统地介绍了塑料、橡胶、化学纤维的成型加工的专业基础知识,重点放在介绍高分子材料加工的经典理论、基本概念、成型方法和工艺、成型设备的特点。具体内容包括成型原理,成型原料、混合与塑化,高分子材料主要成型加工技术,高分子材料二次加工技术和高分子材料加工技术新进展。

本书为高等学校高分子材料专业本科生教材,也可供高分子材料生产和加工企业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高分子加工原理与技术/王小妹,阮文红编. —2版. —北京:化学工业出版社,2014.5

普通高等教育“十一五”国家级规划教材 高分子科学与工程系列教材

ISBN 978-7-122-20047-1

I. ①高… II. ①王…②阮… III. ①高分子材料-生产工艺-高等学校-教材 IV. ①TQ316

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第047021号

责任编辑:杨 菁

文字编辑:徐雪华

责任校对:边 涛

装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张27 字数610千字 2015年2月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:56.00元

版权所有 违者必究

第二版前言

高分子材料是以高分子化合物为基础的材料，高分子材料已与金属材料、无机非金属材料一样，成为科学技术、经济建设中的重要材料。高分子材料是通过制造成各种制品来实现其使用价值的，因此从应用角度来讲，对高分子材料赋予形状为主要目的成型加工技术有着重要的意义。近年来随着高分子材料新品种的不断涌现，制备高性能化和多功能化高分子制品的要求逐年提高，高分子加工技术不断改进和推陈出新，高分子加工科学得到了迅速发展，成为具有重要实用意义的科学分支。

高分子材料的加工是将高分子转变成实用材料或制品的一种工程技术，通过学习和掌握高分子材料成型加工原理、技术以及生产控制因素，可以加深对高聚物加工、结构和性能的正确理解，熟知影响制品性能的各种因素，指导人们选择和运用合适的加工设备、加工方法和加工工艺，并以最低的成本和能耗，实现较高的劳动生产率，获得合乎要求的、高质量的高分子制品。

本书可为从事高分子材料研究和生产的科研人员和工程技术人员提供有价值的参考，也可用作高等院校和科研院所攻读高分子科学和材料专业的本科生和硕士研究生的教学用书，使读者能够了解高分子加工的基本原理、设备配型和工艺技术，高分子制品的加工-结构-性能关系，从而对高分子材料制品生产过程有一全面的了解。本书在编写过程中，在全面阐述成熟的基础理论和基本工艺的前提下，力求书中的理论内容与生产实践紧密结合。在内容上，尽可能系统全面、拓宽专业范围，编排合理。本书按高分子材料主要成型加工技术、其他成型加工技术、二次加工技术等分类介绍高分子加工原理和技术，使读者易于理解，并能一目了然。2006年本书第一版出版以后，受到读者欢迎，重印4次，为此，我们在保持第一版原有特色的基础上，根据近年来的教学实践，对全书内容进行重新编排，删去一些陈旧的内容，由十章整理为七章，在最后一章，向读者介绍高分子加工的最新研究成果，以及加工技术的最新进展。与第一版相比，本版内容更加简明，力求突出重点，更适于作为教学材料；同时与时俱进，总结了高分子加工技术的最新研究进展，以开拓读者的视野。

本书第1、2、3、第5章的5.4、5.5节和第6章的6.1~6.4、第7章的7.1节由王小妹编写，第4章、第5章的5.1~5.3节及第7章的7.2、7.3节由阮文红编写。本书的编写得到“聚合物复合及功能材料”教育部重点实验室、中山大学化学与工程学院同事们的支持和大力帮助，也得到国内外高分子界同仁的关心。在此我们表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，编写时间短促，书中的疏漏和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

王小妹 阮文红

2014年1月于中山大学

第一版前言

高分子材料是当前人类使用的主要材料之一，在国民经济中占有重要地位。近年来，高分子材料的新品种不断涌现，制备高性能化和多功能化高分子制品的要求逐年提高，带动高分子加工技术不断改进和推陈出新，使高分子加工科学得到了迅速发展，成为具有重要实用意义的科学分支。

高分子材料只有通过高分子加工，才能具有使用价值，而且高分子制品的性能可以说是由成型加工过程最终确定的。所以通过学习和掌握高分子加工原理和技术，可以加深对高聚物加工、结构和性能的正确理解，指导人们以最低的成本和能耗，实现较高的劳动生产率，获得合乎要求的、高质量的高分子制品。

同时学科间的交叉也亟待编写一本依托于材料类一级平台上的高分子加工教材，使材料类及相关专业本专科教师、学生，高分子生产和加工企业技术人员及培训学员能够了解高分子加工的基本原理、设备配型和工艺技术，高分子制品的加工-结构-性能关系，从而对高分子材料制品生产过程有一全面的了解。为此，本书作者在汲取国内外高分子加工著作精华的基础上，认真学习高分子加工科学的新成果，力图使本书在科学思路和内容编排上具有以下的特点：①作为基础性教材，内容尽可能系统和全面。通过介绍高分子加工的基本概念、经典理论、配方设计、混合与塑化技术，使读者获得扎实的高分子加工基础知识；②拓宽专业范围，涉及面广。有别于以往着重单一塑料成型加工的教材，内容涉及塑料、橡胶、化学纤维等高分子材料的加工原理和技术；③编排合理，体现科学思路。在对基本概念和成型原理进行介绍的基础上，主要按热塑性材料、热固性材料、复合材料、高分子溶液、化学纤维和橡胶等分类介绍高分子加工原理和技术，对高分子制品的二次加工也有所涉及，使读者易于理解，并能一目了然；④紧跟学科发展的前沿。扼要地总结介绍高分子加工的最新研究成果和研究方法，以开拓读者的视野。

本书第1、2、3、4、9章和第10章的10.3、10.4、10.5由王小妹编写，第5、6、7、8章和第10章的10.1、10.2由阮文红编写。作为我校编写的高分子科学与工程系列教材之一，本书的编写得到“聚合物复合及功能材料”教育部重点实验室、中山大学化学与化学工程学院高分子研究所和材料科学研究所同事们的支持和大力帮助，也得到国内高分子界同仁的关心。在此我们表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，编写时间短促，本书难免有错误之处，敬请读者批评指正。

王小妹 阮文红
2006年2月于中山大学

目 录

第1章 绪论	1
1.1 高分子材料的分类及性质	1
1.2 高分子材料成型加工及其重要性	3
1.3 高分子材料成型工业的回顾与展望	6
1.3.1 高分子材料工业的初创期	6
1.3.2 高分子材料工业的发展期	7
1.3.3 高分子材料全面发展时期及发展方向	7
1.4 我国高分子材料工业的发展现状	8
第2章 高分子材料成型原理	10
2.1 高分子材料的加工性能	10
2.1.1 高分子材料的熔融性能	10
2.1.2 高分子材料的流变性能	13
2.1.3 高分子材料的成型性能	41
2.2 高分子材料加工中的结构变化	46
2.2.1 高分子材料的结晶	47
2.2.2 高分子材料的取向	51
2.2.3 高分子材料的降解	55
2.2.4 高分子材料的交联	58
第3章 成型原料、混合与塑化	60
3.1 高分子原料	60
3.1.1 橡胶	60
3.1.2 塑料	61
3.1.3 纤维	63
3.2 添加剂	65
3.2.1 稳定剂	65
3.2.2 增塑剂	73
3.2.3 填充剂	76
3.2.4 润滑剂	78
3.2.5 交联剂及偶联剂	80
3.2.6 其他助剂	82
3.3 混合与塑化设备	87

3.3.1	间歇式混合与塑化设备	88
3.3.2	连续式混合与塑化设备	92
3.4	混合与塑化	94
3.4.1	混合与塑化的方法	94
3.4.2	混合机理	96
3.4.3	混合与塑化工艺	101
第4章	高分子材料主要成型加工技术	113
4.1	挤出成型	113
4.1.1	挤出成型设备	113
4.1.2	挤出成型理论	125
4.1.3	挤出成型工艺及控制	139
4.1.4	热塑性和热固性塑料挤出成型技术特点	144
4.1.5	典型制品的挤出成型	147
4.2	注射成型	158
4.2.1	注射成型设备	159
4.2.2	注射成型原理	169
4.2.3	注射成型工艺及控制	178
4.2.4	热塑性和热固性塑料注射成型技术特点	187
4.2.5	典型制品的注射成型	195
4.3	压延成型	199
4.3.1	压延成型设备	199
4.3.2	压延成型原理	204
4.3.3	压延成型工艺及控制	211
4.4	中空吹塑	219
4.4.1	中空吹塑设备	220
4.4.2	挤出吹塑	226
4.4.3	注射吹塑	228
4.4.4	中空吹塑成型工艺及控制	231
4.5	泡沫塑料成型	234
4.5.1	塑料发泡方法及其特点	235
4.5.2	泡沫塑料成型过程及原理	235
4.5.3	泡沫塑料成型设备和选用	238
4.6	流延成型	242
4.6.1	流延成型用溶液的配制	242
4.6.2	流延成型设备	243
4.6.3	流延成型工艺	247
第5章	高分子材料其他成型加工技术	251

5.1 模压成型	251
5.1.1 模压成型设备	251
5.1.2 模压成型原理	253
5.1.3 模压成型工艺	254
5.1.4 热塑性和热固性塑料模压成型技术特点	260
5.2 层压成型	264
5.2.1 浸渍	265
5.2.2 压制成型工艺	265
5.2.3 热处理和后加工	267
5.3 涂覆	267
5.3.1 塑性溶胶的配制	269
5.3.2 直接涂覆	270
5.3.3 间接涂覆	272
5.4 纺丝成型	273
5.4.1 纺丝成型设备	273
5.4.2 纺丝成型原理	275
5.4.3 纺丝成型工艺	282
5.5 橡胶的成型加工	293
5.5.1 橡胶的硫化	295
5.5.2 橡胶的模压成型	302
5.5.3 橡胶的压出成型	302
5.5.4 橡胶的注射成型	307

第6章 高分子材料二次加工技术

6.1 热成型	313
6.1.1 热成型的选材原则	313
6.1.2 热成型设备和模具	315
6.1.3 热成型的基本方法	317
6.1.4 热成型工艺及控制	323
6.2 机械加工	324
6.2.1 高分子制品的机械加工性能	325
6.2.2 高分子制品的机械加工方法	326
6.3 表面整饰	344
6.3.1 机械修饰	344
6.3.2 表面处理	346
6.3.3 表面涂饰	363
6.4 焊接和粘接	371
6.4.1 高分子制品的常用焊接方法	371

6.4.2	高分子制品的粘接理论	376
6.4.3	胶黏剂的选用	380
6.4.4	粘接工艺	382
第7章	高分子材料加工技术新进展	384
7.1	IMD 模内装饰技术	384
7.1.1	IMD 片材	384
7.1.2	油墨	385
7.1.3	塑料粒子	385
7.1.4	IMD 的成型工序及设备	385
7.2	纳米复合材料成型技术	386
7.3	主要加工技术新进展	389
7.3.1	挤出成型技术	389
7.3.2	注射成型技术	398
7.3.3	压延成型技术	411
7.3.4	中空吹塑成型技术	413
7.3.5	纺丝成型技术	417
7.3.6	涂覆成型技术	419
	参考文献	422

第1章

绪论

高分子材料是继金属材料和无机非金属材料之后出现的新一代有机聚合物材料。随着20世纪初高分子科学的建立和石油化工的蓬勃兴起,形成了新型而庞大的高分子材料工业。高分子材料具有许多其他材料不可比拟的突出性能,在尖端技术、国防建设和国民经济各个领域已成为不可缺少的材料。目前三大合成高分子材料(合成树脂、合成纤维、合成橡胶)的世界年产量中80%以上为合成树脂及塑料,发展十分迅速,其在材料领域的地位日益突出。

高分子材料包括天然高分子(棉、麻、毛、丝、角、革、胶等天然材料以及动植物机体细胞)及合成聚合物材料。进入21世纪,复合材料和功能材料将是发展重点。

高分子材料成型加工是一门科学与工程紧密结合的交叉学科,本课程学习目的是:了解材料的特性,确定最适宜加工条件,制取最佳性能产品;为合成具有预期性能的树脂和助剂提供理论依据;提高制品性能,为高新技术的突破提供关键材料。

1.1 高分子材料的分类及性质

通常人们将材料分为金属材料、无机非金属材料 and 有机聚合物材料(亦称为高分子材料,指塑料、橡胶弹性体和纤维)三大类。

目前有机合成高分子材料的品种和数量已大大超过了天然有机高分子材料和无机高分子材料,而且随着合成工业的发展和新的聚合反应方法的出现,其品种和数量还将继续增加。高分子材料的分类方法有多种,可按反应类型、化学结构和所用原料类别等进行分类。其分类见图1-1。

按所用原料类别分类是以制造聚合物时所使用的起始材料或单体的来源为根据,如聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚碳酸酯、聚对苯二甲酸乙二酯、环氧树脂、氨基树脂、酚醛树脂;按反应类型分类是基于合成聚合物时所使用的聚合反应类型(加聚和缩聚)的不同为依据,加聚反应为链增长机理如合成像聚乙烯、聚丙烯等加成聚合物,缩聚反应受逐步增长机理控制,合成像环氧树脂、酚醛树脂等缩聚物;但应用最多的是从化学结构考虑,将高分子材料按其热行为分为热塑性高分子材料(像聚乙烯、聚丙烯)和热固性高分子材料(像酚醛树脂、环氧树脂)两种。从材料的使用角度考虑,这种分类便于认识高聚物的特性。按用途和性能分,又可将塑料分为通用塑料(聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯等)和工程塑料(聚酰胺、聚碳酸酯、聚甲醛、聚苯醚、聚四氟乙烯等)。

有机合成高分子材料可用作塑料(如聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯)、橡胶(如丁苯橡

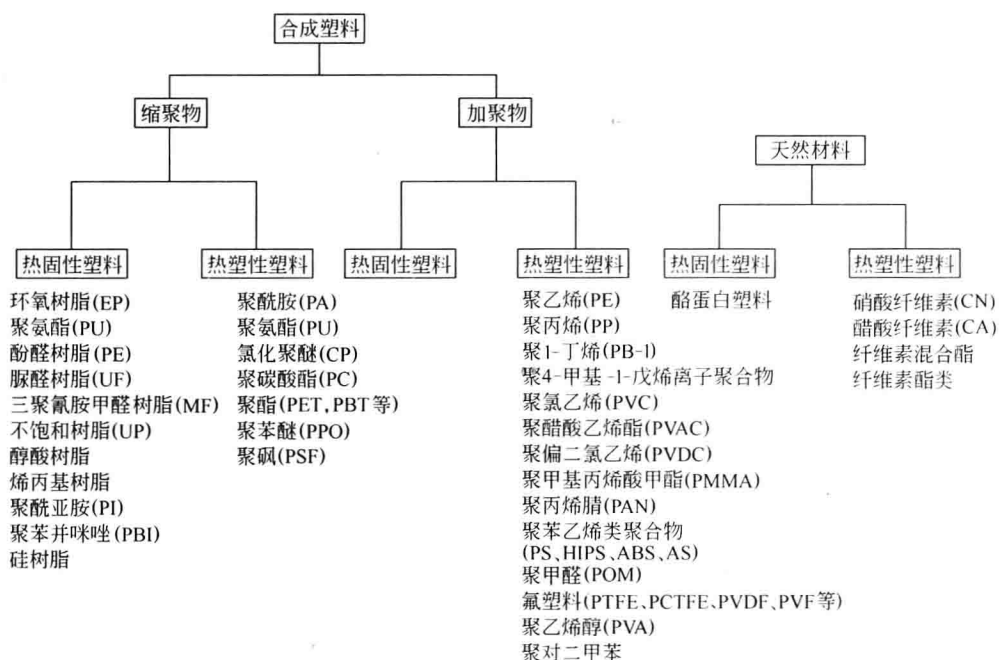


图 1-1 按反应类型、化学结构对塑料分类

胶、聚丁二烯、二元和三元乙丙共聚物)和纤维(如聚对苯二甲酸乙二酯、尼龙、聚丙烯腈),它们的分子量一般为 $10^4 \sim 10^7$ 。一个特定的聚合物应归入上述三种类型的哪一类,可根据其聚合物的力学参数和热转变温度而定。塑料可能是半结晶或结晶的,因而往往颇硬而韧(如聚碳酸酯),也可能是无定形而呈脆性和玻璃状的(如聚苯乙烯)。橡胶是无定形或半结晶的线型聚合物,含有可防止流动的交联键、缠结或微晶区。它们在小外力作用下显示出长程可逆延伸性。纤维是半结晶或结晶聚合物,具有高熔点和高拉伸强度,能取向和纺丝。许多结晶聚合物既可用于塑料又可用作纤维,如聚对苯二甲酸乙二酯、尼龙、聚丙烯等。聚乙烯、聚四氟乙烯、聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、酚醛树脂、脲醛树脂、三聚氰胺-甲醛树脂等只能是塑料。丁苯橡胶、聚丁二烯、乙丙橡胶、丁基橡胶、氯丁橡胶、丁腈橡胶和聚异戊二烯则是橡胶弹性体。热转变温度(玻璃化温度 T_g 、室温 T_r 、熔点 T_m)和力学性能(弹性模量、拉伸强度、伸长率)可方便地用来区分塑料、橡胶和纤维,其见表 1-1。

按照加工时材料受热行为,可将所有的聚合物分为热塑性和热固性高分子材料两大类。热塑性高分子材料本身多为长链大分子、线型或支链聚合物。当加热此类材料超过一定温度时,材料就软化,进而产生流动,很少有化学反应发生,仅仅是物理的熔融过程;当温度降至一定温度时,材料就硬化恢复原来的状态;再受热又可软化,冷却再变硬;这类材料在某些特定溶剂的作用下还可溶解,成为高分子树脂溶液,溶剂挥发后,材料仍可回复到原来的状态。所谓热塑性高分子材料就是能反复进行上述过程的高分子材料。例如:聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚偏氯乙烯、聚乙烯醇、聚碳酸酯等均为热塑性高分子材料。

表 1-1 聚合物的热转变和力学性能

参 数	聚合物		
	塑料	橡胶	纤维
热转变 ^①	(低压聚乙烯) $T_g \geq T_r + 75^\circ\text{C}$ (玻璃状) $T_g < T_r, T_m > T_r$ (结晶)	(丁苯橡胶) $T_g + 75^\circ\text{C} \leq T_r$	(尼龙) $T_m > T_r + 150^\circ\text{C}$
力学性能			
弹性模量/MPa ^②	10~10 ²	0.1~1	10 ³ ~10 ⁴
伸长率/% ^③	100~200	1000	10~30
拉伸强度/MPa ^④	20~40	28	460~870 (与牵伸比有关)
断裂伸长率/%	15~100	580	19~32

① 玻璃化温度 T_g 是一种无定形材料从玻璃状脆性转变为黏性的温度范围的中点。

② 弹性变形时应力与应变之比，也称为弹性系数。

③ 材料受拉伸应力时长度增加的百分数，是延伸性的量度。

④ 材料受拉时产生的最大应力，是极限强度的量度。

注：资料来源：[美] M. D. 贝贾尔编，塑料聚合物科学与工艺学，贾德民，姚钟尧译，广州：华南理工大学出版社，1991。

热固性高分子材料是由较低分子量的线性结构物质构成。但一经加热，材料首先软化，呈现出流动性，随即发生缩聚反应，脱出小分子物质并生成中间缩聚物，进而该中间缩聚物分子间发生交联反应，生产具三维交联的体型结构高分子化合物，最终固化成为不熔、不溶的高分子材料。酚醛树脂、脲醛树脂、环氧树脂等均为热固性高分子材料。其比较见表 1-2。

表 1-2 热塑性高分子材料和热固性高分子材料的对比

项目	热塑性高分子材料	热固性高分子材料
分子结构	线性及支链大分子	线性大分子，固化后成为三维交联的体型结构大分子
热行为	受热可融化，冷却又变硬，可反复此过程	制成制品后即成为不溶不熔的材料
重复加工性	再次受热，仍可软化，熔融，反复多次加工	受热不熔融，达到一定温度分解破坏，不能反复加工
溶解性	可溶于特定的溶剂	仅在某些溶剂中溶胀
成型方法	可用注射、挤出、压延、热成型等方法加工，也可用机械加工的方法加工	可用模压、层压成型及机械加工等方法加工
透明性	多数材料能制成透明制品	制品几乎不透明
可回收性	大多数材料可回收再次使用	材料成型已形成三维体型结构，不溶不熔，故不能回收再次使用

1.2 高分子材料成型加工及其重要性

高分子材料已广泛应用于国民经济各个领域，成为与钢材、水泥、木材并驾齐驱的基础材料。高分子材料是通过制造各种制品来实现其使用价值的，因此从应用角度来讲，对高分子材料赋予形状为主要目的的成型加工技术有着重要的意义。高分子材料是一定配合的高分子化合物（由主要成分树脂或橡胶和次要成分添加剂组成）在成型设备中，受一定温度和压力的作用熔融塑化，然后通过模塑制成一定形状，冷却后在常温下能保持既定

形状的材料制品。因此，材料组成、成型加工方法和成型机械及模具决定了高分子材料制品的性能。塑料是高分子材料中最大的一类材料，其次是合成纤维。世界塑料原料（树脂）产量在1950年仅为200万吨，到1991年全世界塑料产量已突破1亿吨，2004年已突破2.1亿吨，2010年已突破3亿吨。全球塑料产量超过1000万吨的国家有5个，即中国、美国、德国、日本和韩国。

塑料工业共包含塑料生产（包括树脂和半成品的生产）和塑料制品生产（也称为塑料成型工业或加工工业）两个系统。这两个系统是相辅相成、互相依赖的。没有塑料的生产，就没有塑料制品的生产，其理由是十分明显的。但没有塑料制品的生产，塑料就不会成为生产或生活资料。要生产一个合格的塑料制品，除了要对塑料性能提出要求外，尚需要有一个合理的成型方法，否则难以达到目的。显而易见，塑料成型是塑料工业和其他工业联系的桥梁。塑料生产和塑料制品生产是一个系统的两个连续部分，其联系用图1-2来表示。

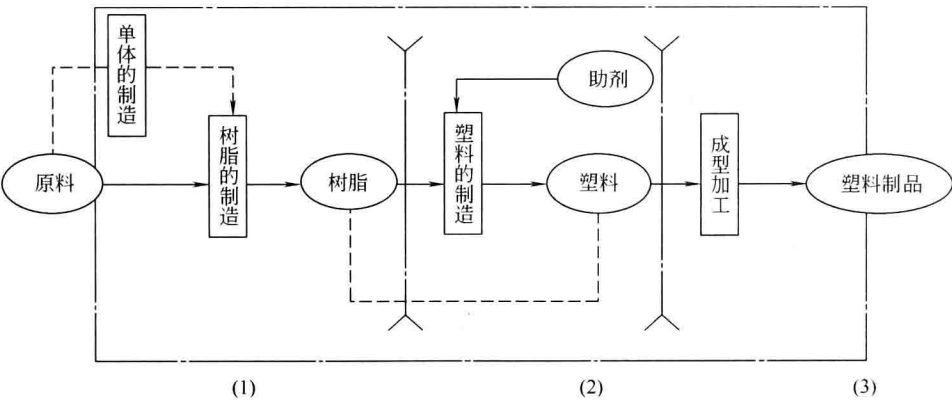


图 1-2 从塑料至塑料制品的生产流程示意图

从图1-2可见：从塑料至塑料制品的生产流程共分为三个连续部分。图中长方形表示过程；椭圆形表示原料、中间产物或成品；实线箭头表示流程前进的方向；虚线箭头表示该段流程前进的另一种方式。据上所述，当知（1）和（3）两部分是分别属于树脂和塑料制品两个生产部门的，而生产部门也确实是这样划分的。至于第2部分，按理也应属于树脂部门，但一般较大的成型工厂为了方便，也有将这部分归入自己的生产范围。这样，除能满足它自己对塑料在配方上的多样性要求外，还可以简化仓库的管理。

成型加工技术不仅要适应化学结构不断变化的各种新型高分子材料的出现，而且要通过成型加工，在材料制品中实现甚至优化体现材料性能的分子聚集架构，还要发展诸如在工程学层次上操纵分子链进行高分子材料成型加工的新技术。高分子材料成型加工就是利用一切可以实施的方法，使其成为具有一定外形而又有使用价值的物件或定型材料。

高分子材料成型加工一般由原料准备、成型、机械加工、修饰和装配等连续过程组成，也可将机械加工、修饰和装配称为后加工，如图1-3。

聚合物材料常以颗粒形式供给加工者，高分子材料成型是在一系列的准备性操作之后才进行。首先将多种聚合物和各种添加剂通过搅拌、剪切力使其混合为一个均匀度和分散

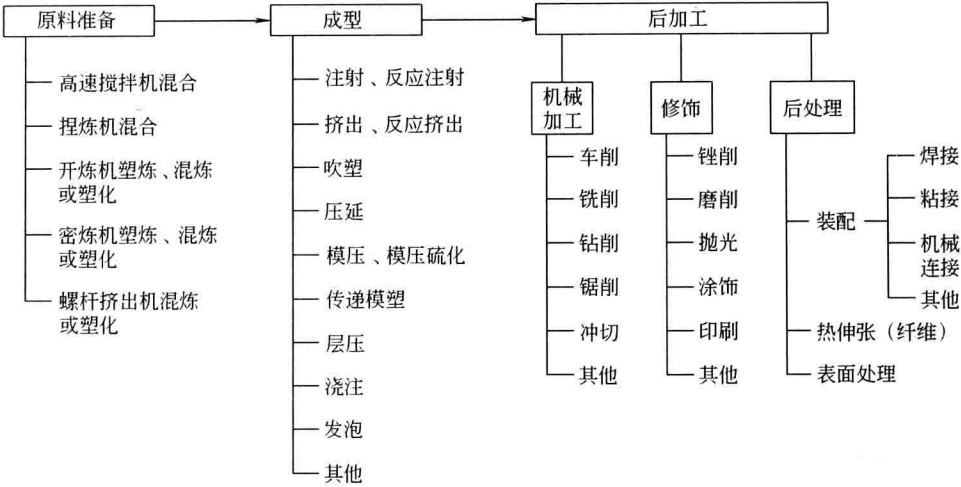


图 1-3 高分子材料成型加工过程

度高的整体。对常温下处于玻璃态或结晶态的固体塑料或纤维与添加剂的共混料制作方式是：在常温下或略高于室温条件下，在混合设备中首先进行初混合，然后再移至高温混炼设备中，使树脂达到黏流态进行混炼。而橡胶常温下处于高弹态，呈现弹性体状态，故橡胶与添加剂的共混可在黏弹态或黏流态，靠混炼设备提供的强力剪切、掺混进行混炼。

成型是将各种形态的聚合物（粉料、粒料、溶液或分散体）制成所需形状的制品的过程，是一切高分子材料制品或型材生产的必经过程。在各种塑料成型方法中多数采用挤出成型和注射成型，前者约占 40%，后者约占 30%。表 1-3 表示各种成型方法的适应性，表 1-4 表示各种塑料的主要成型方法。橡胶材料要先成型，再硫化，最后做成制品。制作纤维的高分子材料一般要先成型为毛坯，再经拉伸取向，然后缠绕即成单根纤维。

表 1-3 各种成型方法的适应性

成型方法		成型时剪切速率范围/s ⁻¹	成型时的压力/MPa	制品实例
一次成型	挤出成型	10 ² ~10 ³	几~几十	片、薄板、薄膜、管、棒、网、异型材、电线电缆
	注射成型	10 ³ ~10 ⁴	高压:50~200 低压:<30	齿轮、日用品、保险杠、浴缸、型框
	模压成型	1~10	几	蜜胺餐具、连接器件
	传递模塑成型		10~20	电器制品(零件)
	层压成型		高压>5, 低压 0~5	化妆板、安全帽
	吹塑成型		几	瓶、罐、鼓状物
	压延成型	10~10 ²		PVC 人造革
	发泡成型		零点几~几	隔热材料、PS 泡沫、托盘
	拉伸 其他(浇铸成型、 回转成型、RIM 等)	约 10		PET 膜、OPP
二次成型	加热加压成型	真空成型 加压成型 冲压成型	约 0.1 零点几 几	容器、罩、托盘、广告牌 汽车顶板、混凝土、型框
	粘接(含溶接)、机械加工(切断、穿孔、弯曲等)、表面处理(涂装、表面硬化、静电植绒、印刷等)			

表 1-4 各种塑料的主要成型方法

塑 料 名 称	注射 成型	挤出 成型	吹塑 成型	模压 成型	传递 模塑成型	压延 成型	发泡 成型	层压 成型	浇铸 成型	搪塑 成型	回转 成型
聚乙烯	☆	☆	☆	△			☆				
聚丙烯	☆	☆	☆				△				△
聚氯乙烯	△	☆	☆	△		☆	☆	☆		△	△
聚偏二氯乙烯		☆		△							
聚苯乙烯	☆	☆	☆				☆				
ABS	☆	☆	△			△	☆				
聚甲基丙烯酸甲酯	☆	☆	△	△					☆		△
聚氨酯	☆						☆		☆		
酚醛树脂	☆			☆	☆		△	☆	△		
脲醛树脂	☆			☆	☆		☆	☆	△		
三聚氰胺甲醛树脂	△			☆	☆			☆			
不饱和聚酯	△			☆	☆			☆	△		
DAP	△			☆	△			☆	△		
环氧树脂	△			☆	☆			☆	☆		
有机硅树脂				☆			△	☆	△		
聚酰胺	☆	☆	△	△							
聚碳酸酯	☆	☆	△	△					△		△
聚甲醛	☆	☆	△								
聚苯醚	☆	☆	△								
聚四氟乙烯	△	△		☆							△

注：☆—优，△—良。

由表 1-3 和表 1-4 可知，各种高分子材料都有其相适应的成型加工方法，究竟采用哪种成型方法，除取决于高分子化合物的特性外，还与成型机械有关。除加工技术外，生产成本和制品质量都应列为重点考虑因素。

高分子材料加工中，制品经成型或成型-硫化后，还要经过后加工工段方可作为成品出厂。如成型-硫化后的橡胶制品要经过修边、整形；塑料制品有时要经过修饰、机械加工、装配等后加工工段；纤维制品有时要经过热伸张定型及表面处理。这些后加工过程是根据制品的要求来取舍的，也就是说，不是每件制品都需完整地经过这些过程。机械加工是指在成型后的工件上钻眼、切螺纹、车削或铣削等，用来完成成型过程所不能完成或完成得不够准确的一些工作。修饰是为美化塑料制品的表面或外观，也有其他目的，如为提高塑料制品的介电性能要求它具有高度光滑的表面。装配是将各个已经完成的部件连接或配套使其成为一个完整制品的过程。

1.3 高分子材料成型工业的回顾与展望

从远古以来，高分子材料就是人类赖以生存的重要原材料之一，从第一个人工半合成的高分子化合物算起，高分子工业已经历了一百多年的历史，习惯上可将其分为三个阶段。

1.3.1 高分子材料工业的初创期

在 1850 年以前重点是天然聚合物的利用和组成的阐明，1820 年 Hancock 橡胶塑炼机

和 1839 年 Goodyear 橡胶的硫化, 是橡胶工业发展长河中的一个重要的里程碑。

第一个半合成的高分子材料出现于 1869 年, Hyatt 发明了硝酸纤维素用樟脑增塑后的赛璐珞, 然后通过挤出成型、注射成型实现各种制品的工业化, 标志着热塑性塑料时代的到来。现代挤出机和注射机的原型由 20 世纪 30 年代确定。

1909 年 Bakeland 第一个合成了酚醛树脂热固性塑料。随后又开发了氨基塑料。1920 年 Staudinger 提出了高分子的概念, 并开展了大量的实验验证。

1.3.2 高分子材料工业的发展期

这一时期约从 20 世纪 30 年代到 70 年代。在这一时期不仅开发了大多数塑料, 而且在中空吹塑、浇铸成型、压延成型等工艺技术和机械方面也取得了显著的进展。塑料的商业重要性在此时期内按指数规律发展, 这在很大程度上得益于聚合科学、生产工艺学、结构-性能关系和应用设计的发展。1930 年 Carother 发现了尼龙, 在 1939 年作为一种纤维和热塑性工程塑料进入市场。在 1939~1940 年, 发展了缩聚反应理论创建了乳液合成理论, 氯丁橡胶、丁苯橡胶的工业化产品投入使用。1953 年, Ziegler-Natta 催化剂的发明, 极大地推动了高分子材料工业的发展。如目前使用的绝大多数通用热塑性塑料(聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯等)、工程塑料(ABS、聚甲醛、聚苯醚、聚砜、含氟含硅化合物等)及橡胶(顺丁橡胶、异戊橡胶、丁腈橡胶、乙丙橡胶、丁基橡胶等)在这一阶段相继问世并工业化。

在 1960~1969 年, 大量新型高分子材料的涌现, 促进了高分子物理研究的进展。各种实验手段的探索, 各种近代研究方法(如 NMR、GPC、IR、UV、电镜、动态黏弹谱等)的应用, 揭示了高分子的结构(分子量、分子量分布、支化、交联、结晶、取向、凝聚态等)与性能(物理性能、黏弹性、加工流变性能等)的内在关系, 这为高分子共混理论的建立和新的成型加工技术的开发提供了理论依据。

1.3.3 高分子材料全面发展时期及发展方向

这一时期约从 20 世纪 70 年代至今。由于前一阶段高分子化合物的生产技术已成熟, 产量大幅度增长, 塑料年产量已突破 1 亿吨。在这一阶段, 高分子材料的开发已从大规模地合成新的高分子化合物转向通过采用各种方法对已有的高聚物进行改性。高分子合金化技术、反应性加工技术、振动技术、电磁动态成型技术、在线检测及自动控制技术、气体辅助技术、高分子化合物/无机物复合材料及纳米材料规模化应用等关键技术已成为开发重点。注意发展在材料表面引入分子、纳米粒子的超临界流体溶胀技术, 制备分子链有序排列的大面积高分子光电功能薄膜或纳米纤维的外场辅助制膜成纤技术, 适用于超分子体系制备的成型加工技术, 以及计算模拟技术在成型加工中的应用等技术, 这些都是很有战略意义的。聚合物加工过程中聚合物结构(取向、结晶、晶态结构等)的调控; 聚合物纳米材料制备新技术及相关理论; 多层、多组分聚合物的共挤出、共注塑技术和理论; 环境友好、生物可降解高分子材料的制备、加工以及废弃高分子材料的回收利用技术等已引起人们密切关注及重视。

近二十年来, 流变学理论发展迅速, 其在聚合物加工中的应用为成型加工原理的建立、分析改进生产工艺、合理地进行配方设计和开发新的加工工程技术打下了基础。

高分子材料加工的主要目标是高生产率、高性能、低成本和快捷交货。传统的高分子材料主要成型加工方法有挤出成型、注射成型、吹塑成型和压延成型四大类。随着高分子加工产业的不断发展,高分子材料制品逐渐向着小尺寸、薄壁、轻质方面发展;高分子材料成型加工方面,从大规模向较短研发周期的多品种转变,并向低能耗、全回收、零排放等方向发展。因此,在 高分子材料加工成型的发展过程中,逐渐形成了几种新型的高分子材料加工成型方法。如固相挤出,反应挤出成型、反应注射成型、塑料激光塑性成形技术、半结晶塑料激光焊接技术、激光烧结技术和 3D 快速成型技术等。

信息、生物、能源、环境等技术的发展,呼唤新材料。面向 21 世纪,高分子材料结构与性能研究上将深入微观和亚微观的尺度,建立定量和半定量的关系,通过功能化、复合化和精密化发现新的性能和新的应用领域。

1.4 我国高分子材料工业的发展现状

我国的高分子材料工业经历了由小变大、由弱变强的发展历程。目前合成纤维等原材料的产量已跃居世界首位,塑料年产量和橡胶年消耗量仅次于美国,位居世界第二位。国内高分子材料产品基本能满足国民经济发展和人民生活水平提高的需求,已成为国民经济和社会发展的强大物质基础。

中国塑料制品行业蓬勃发展,成为世界塑料增长极。目前我国塑料消费量超过 6000 万吨,占世界塑料消费总量 2.38 亿吨的 1/4 强,超过美国居世界第一。人均消费 46kg,超过了世界 40kg 的平均水平,成为真正的世界塑料生产、消费、进出口大国。

我国在塑料加工新技术、聚合物纳米材料制备新技术、加工过程中聚合物结构的调控、聚合物反应性加工等方面具有特色,受到国际同行的关注。与国外先进国家的差距主要是对聚合物加工过程的基础理论研究不够深入;在聚合物加工过程的计算机模拟、在线检测以及废弃高分子材料回收利用和高分子绿色工程的实施等方面需要大力加强。

尽管经过多年努力,目前我国已是世界合成树脂和塑料制品生产大国之一,但我国仍存在高分子材料产业结构、技术结构及产品结构不合理的问题,劳动生产率低,高附加值产品不能完全自给,产品品种比较单一,专用料少,创新能力弱和缺乏市场竞争能力,综合技术水平和整体素质不高,与发达国家相比有如下三方面差距:

(1) 技术结构不合理

聚烯烃 HDPE、LDPE 的气相、溶液和浆液聚合工艺装备全部引进,高密度聚乙烯、大型聚丙烯生产装置大都引进。纤维-纺织-后加工一体化新产品开发体系和鞣性生产体系尚未建立。石化、化纤只有 10%~38% 工艺装备达到国际先进水平,落后装备仍是高分子材料工业的主要生产手段。改造、淘汰落后装备技术,提高高分子材料工业技术和装备水平已成为 21 世纪的重要任务。

(2) 产业结构不合理

长期短缺经济形成的卖方市场,在改革开放后市场经济引导下,高分子材料工业很快形成了一批低水平的重复建设,加上改革开放前的技术装备,大都是装备能力小、工艺技术落后、消耗大、污染重、产品质量差、成本高的落后生产力,庞大的落后企业致使我国