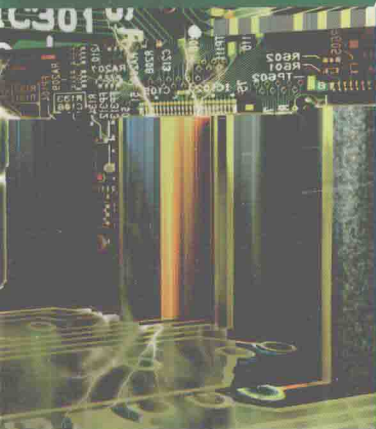




普通高等教育“十二五”规划教材



[高分子材料与工程专业系列教材]
高分子材料成型工程

Science and Technologys for
Polymeric Material Molding

方少明 冯钠 主编



中国轻工业出版社

全国百佳图书出版单位

普通高等教育“十二五”规划教材
高分子材料与工程专业系列教材

高分子材料成型工程

方少明 冯 钠 主 编
方少明 冯 钠 闫春绵 夏 英 编 著
曲敏杰 刘伟良 冯孝中 李亚东

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高分子材料成型工程/方少明, 冯钠主编. —北京:
中国轻工业出版社, 2014. 6

普通高等教育“十二五”规划教材. 高分子材料与工
程专业系列教材

ISBN 978-7-5019-9038-2

I. ①高… II. ①方…②冯… III. ①高分子材料-
成型-工艺学-高等学校-教材 IV. ①TQ316

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 027038 号

责任编辑: 林 媛

策划编辑: 林 媛 责任终审: 滕炎福 封面设计: 锋尚设计

版式设计: 宋振全 责任校对: 燕 杰 责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2014 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 20.25

字 数: 467 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-9038-2 定价: 52.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

101028J1X101ZBW

前 言

高分子材料的成型加工过程是决定制品结构与性能的关键因素，其相关知识体系涉及多个学科。本书比较详细地介绍了高分子材料加工相关理论基础知识和主要的成型加工方法及原理，并侧重高分子科学与加工工程的紧密结合，增加了高分子材料加工工程的最新理论、方法以及工艺的篇幅。

本书共分七章，第一章、第二章和第三章由郑州轻工业学院方少明、闫春绵和李亚东共同编写；第四章由大连工业大学冯钠编写；第五章由大连工业大学夏英编写；第六章由山东轻工业学院刘伟良编写；第七章中的第1节、第4节和第6节由大连工业大学曲敏杰编写；第七章中的第2节、第3节、第5节和第7节由郑州轻工业学院冯孝中编写。

《高分子材料成型工程》供高分子材料与工程专业学生使用，也可供从事高分子材料及相关专业的教学、科研、设计、生产和应用的人员参考使用。本书在编写过程中得到三所高校高分子材料与工程专业教研室全体教师的大力支持，作者在此表示衷心感谢。

编 者
2013年8月

高分子材料与工程专业系列教材

编审委员会名单

主任：励杭泉

副主任（按汉语拼音为序）：

方少明 冯 钠 顾 凯 李齐方 李青山 卢秀萍
彭响方 钱 欣 唐颂超 肖小亭 徐伟箭 杨 彪
姚金水 余 强

委员（按汉语拼音为序）：

崔永岩 方少明 冯 钠 励杭泉 刘 斌 卢秀萍
彭响方 钱 欣 唐颂超 邬素华 项爱民 姚金水
余 强 曾 威 张桂霞

出版说明

本系列教材是根据国家教育改革的精神,结合“十一五”期间院校教育教学改革的实践和“十二五”期间院校高分子材料与工程专业建设规划,根据院校课程设置的需求,编写的高分子材料与工程专业系列教材,旨在培养具备材料科学与工程基础知识和高分子材料与工程专业知识,能在高分子材料的合成、改性、加工成型和应用等领域从事科学研究、技术和产品开发、工艺和设备设计、材料选用、生产及经营管理等方面工作的工程技术型人才。本系列教材架构清晰、特色鲜明、开拓创新,能够体现广大工程技术型高校高分子材料工程教育的特点和特色。

为了适应高分子材料与工程专业“十二五”期间本科教育发展的需求,中国轻工业出版社组织了相关高分子材料与工程专业院校召开了“‘高分子材料与工程’专业‘十二五’规划教材建设研讨会”,确定了“高分子材料与工程”专业的专业课教材,首批推出的是:《高分子物理》《高分子科学基础实验》《高分子材料加工工程专业实验》《高分子材料科学与工程导论》(双语)、《高分子材料成型加工》(第三版)、《高分子材料成型工程》《聚合物制备工程》《聚合流变学基础》《聚合物成型机械》《塑料模具设计》《高分子化学与物理》《塑料成型 CAE 技术》《塑料助剂及配方》《涂料与黏合剂》《材料导论》(第二版)。

本系列教材具有以下几个特点:

1. 以培养高分子材料与工程专业高级工程技术型人才为目标,在经典教学内容的基础上,突出实用性,理论联系实际,适应本科教学的需求。
2. 充分反映产业发展的情况,包括新材料、新技术、新设备和新工艺,把基本知识的教学和实践相结合,能够满足工程技术型人才培养教学目标。
3. 教材的编写更注重实例的讲解,而不只是理论的推导,选用的案例也尽量体现当前企业技术要求,以便于培养学生解决实际问题的能力。
4. 为了适应现代多媒体教学的需要,主要教材都配有相关课件或多媒体教学资料,助学助教,实现了教学资源的立体化。

本系列教材是由多年从事教学的一线教师和具有丰富实践经验的工程技术人员共同编写的结晶,首批推出的 15 本教材是在充分研究分析“十二五”期间我国经济社会发展和材料领域发展战略的基础上,结合院校教学特色和实践经验编写而成的,基本能够适应我国目前社会经济的迅速发展和需要,也能够适应高分子材料与工程专业人才的培养。同时,由于教材编写是一项复杂的系统工程,难度较大,也希望行业内专家学者不吝赐教,以便再版修订。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 高分子材料分类	1
1.2 高分子材料成型及其重要性	1
1.3 高分子材料制品类型及成型方法	2
1.4 高分子材料成型工业的发展现状和前景	3
1.5 本课程的主要内容和要求	4
第2章 高分子材料成型基础理论	5
2.1 概述	5
2.2 高分子材料的加工性	5
2.2.1 高分子材料的聚集态及其加工性	5
2.2.2 高分子材料的可挤压性	6
2.2.3 高分子材料的可成型性	7
2.2.4 高分子材料的可延展性 (可拉伸性)	7
2.2.5 高分子材料的可纺性	8
2.3 聚合物的流变性质	8
2.3.1 高分子材料在成型过程中的黏性流动与黏度	9
2.3.2 聚合物在成型过程中的弹性	23
2.3.3 聚物流变性测量	31
2.4 聚合物在成型中的物理和化学变化	33
2.4.1 成型过程中聚合物的结晶	34
2.4.2 成型中的取向作用	40
2.4.3 聚合物的降解	46
2.4.4 聚合物的交联	48
思考题	49
参考文献	49
第3章 混合与混炼	50
3.1 概述	50
3.2 混合与混炼设备	50
3.2.1 初混设备	50
3.2.2 混(塑)炼设备	55
3.3 高分子材料的混合及塑炼工艺	66
3.3.1 塑料的混合与塑化工艺	66
3.3.2 橡胶的塑炼与混炼工艺	74

思考题	81
参考文献	82
第4章 挤出成型	83
4.1 概述	83
4.1.1 挤出成型过程与分类	83
4.1.2 挤出成型的特点	83
4.1.3 挤出成型的发展趋势	84
4.2 挤出成型设备	84
4.2.1 挤出成型设备概述	84
4.2.2 单螺杆挤出机	85
4.2.3 双螺杆挤出机	91
4.3 挤出塑化理论	98
4.3.1 挤出理论基础知识	98
4.3.2 固体输送理论	99
4.3.3 熔融理论	101
4.3.4 熔体输送理论	103
4.3.5 挤出机的综合工作点	105
4.4 挤出工艺流程与工艺控制参数	106
4.4.1 挤出成型基本工艺流程	106
4.4.2 挤出成型过程的主要工艺参数	108
4.5 几种挤出制品生产工艺	109
4.5.1 挤出管材	109
4.5.2 挤出吹塑薄膜	116
4.5.3 挤出幅状材料	121
4.5.4 双向拉伸薄膜	124
4.5.5 挤出异型材	126
4.6 橡胶挤出	129
4.6.1 挤出工艺流程	130
4.6.2 挤出成型性能	130
4.6.3 挤出工艺参数的控制	131
4.7 反应性挤出	132
4.7.1 反应性挤出加工设备	133
4.7.2 反应性挤出技术的特点	133
4.7.3 反应性挤出的反应类型	134
4.8 共挤出技术	134
4.8.1 共挤复合膜的结构设计与材料的选择	134
4.8.2 共挤复合膜的主要生产方法	135
思考题	136
参考文献	137

第5章 注射成型	138
5.1 概述	138
5.2 注射成型设备	138
5.2.1 注射机	138
5.2.2 注射系统	144
5.2.3 锁模系统	147
5.3 注射模具	150
5.3.1 模具结构组成	150
5.3.2 注射模典型结构及常见类型	152
5.4 注射成型工艺过程及控制因素	158
5.4.1 成型前的准备	158
5.4.2 注射成型过程	160
5.4.3 制件的后处理	164
5.5 注射成型工艺条件的分析讨论	165
5.5.1 温度	165
5.5.2 压力	167
5.5.3 时间(成型周期)	169
5.6 其他材料的注射成型	170
5.6.1 热固性塑料注射成型	170
5.6.2 橡胶注射成型	174
5.6.3 反应注射成型	178
5.7 注射成型的发展	181
5.7.1 排气式注射成型	181
5.7.2 结构发泡注射成型	182
5.7.3 流动注射成型	184
5.7.4 气体辅助注射成型	184
5.7.5 水辅注射成型	188
思考题.....	191
参考文献.....	191
第6章 中空吹塑	193
6.1 概述	193
6.1.1 中空吹塑成型对原料的要求	193
6.1.2 中空吹塑成型常用的方法	193
6.1.3 中空吹塑技术的发展	195
6.2 中空吹塑设备	195
6.2.1 型坯成型装置	195
6.2.2 吹胀装置	201
6.2.3 中空吹塑模具	203
6.2.4 辅助装置	207
6.3 吹塑工艺过程及控制因素	208

6.3.1	挤出吹塑工艺过程及控制因素	208
6.3.2	注射吹塑成型的工艺过程及控制因素	213
6.3.3	拉伸吹塑工艺及控制因素	217
	思考题	222
	参考文献	222
第7章	其他成型方法	223
7.1	压延成型	223
7.1.1	概述	223
7.1.2	压延设备	223
7.1.3	压延原理	225
7.1.4	压延工艺过程	227
7.1.5	影响压延制品质量的因素	228
7.2	模压	233
7.2.1	模压成型用设备	233
7.2.2	模压成型工艺过程	236
7.2.3	模压成型的控制因素	239
7.2.4	冷压烧结成型	242
7.3	涂层	244
7.3.1	概述	244
7.3.2	基材涂层	244
7.3.3	喷涂	253
7.4	泡沫塑料的成型	257
7.4.1	概述	257
7.4.2	发泡方法	259
7.4.3	发泡成型原理	262
7.4.4	聚氨酯泡沫塑料	264
7.4.5	聚苯乙烯泡沫塑料生产工艺	268
7.4.6	聚氯乙烯泡沫塑料	270
7.4.7	聚乙烯泡沫塑料	272
7.5	热成型	276
7.5.1	概述	276
7.5.2	热成型工艺方法	276
7.5.3	热成型工艺设备	280
7.5.4	热成型工艺控制	285
7.6	层压塑料和增强塑料的成型	287
7.6.1	概述	287
7.6.2	增强作用和界面作用	288
7.6.3	增强物及其表面处理	290
7.6.4	高压成型	292
7.6.5	低压成型	294

7.6.6 热塑性增强塑料	296
7.7 浇铸	298
7.7.1 概述	298
7.7.2 静态浇铸	299
7.7.3 离心浇铸	302
7.7.4 流延铸塑	303
7.7.5 搪塑	304
7.7.6 蘸浸成型	305
7.7.7 滚塑	306
思考题.....	308
参考文献.....	309

第 1 章 绪 论

1.1 高分子材料分类

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。因此适宜的材料组成、正确的成型方法和合理的成型机械和模具是制备性能良好的高分子材料的 3 个关键因素。高分子材料按特性分为塑料、橡胶、纤维、高分子胶黏剂、高分子涂料和高分子基复合材料等。

塑料是以合成树脂或化学改性的天然高分子为主要成分，再加入稳定剂、增塑剂、填料等添加剂制得。其分子间次价力、模量和形变量等介于橡胶和纤维之间。室温下通常处于玻璃态，呈现塑性。通常按合成树脂的特性分为热固性塑料和热塑性塑料；按用途又分为通用塑料和工程塑料。

橡胶是一类线型柔性高分子聚合物。其分子链间次价力小，分子链柔性好，在外力作用下可产生较大形变，除去外力后能迅速恢复原状。室温下处于高弹态，呈现弹性。有天然橡胶和合成橡胶两种。

高分子纤维分为天然纤维和化学纤维。前者指蚕丝、棉、麻、毛等。后者是以天然高分子或合成高分子为原料，经过纺丝和后处理制得。纤维的次价力大、形变能力小、模量高，一般为结晶聚合物。

高分子胶黏剂是以合成和天然高分子化合物为主体制成的胶黏材料。分为天然胶黏剂和合成胶黏剂两种。应用较多的是合成胶黏剂。

高分子涂料是以聚合物为主要成膜物质，添加溶剂和各种添加剂制得。根据成膜物质不同，分为油脂涂料、天然树脂涂料和合成树脂涂料。

高分子基复合材料是以高分子化合物为基体，添加各种增强材料制得的一种复合材料。它综合了原有材料的性能特点，并可根据需要进行材料设计。

除胶黏剂、涂料一般无需加工成型而可直接使用外，塑料、橡胶、纤维等通常须用相应的成型方法加工成制品。本书着重讨论塑料制品的成型，兼及橡胶和化纤。

1.2 高分子材料成型及其重要性

高分子材料的生产由高分子化合物的制造和成型加工两大部分组成，图 1-1 所示为高分子材料的制造框图。

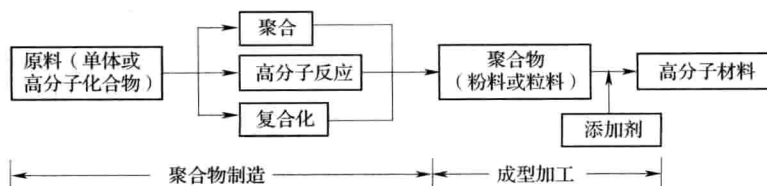


图 1-1 高分子材料制造框图

利用单体的聚合反应、高分子化合物的化学反应性使之改性和采用接枝反应、相容剂等复合化制造出高分子化合物——聚合物，经过成型加工制备成有用的高分子材料。聚合物的制造是决定高分子材料结构、性能和应用的前提，而成型加工是决定高分子材料最终结构和性能的重要环节。聚合物制造在《高分子化学》课程上论述，成型加工是本课程的内容。

成型加工是将高分子材料（有时还加入各种添加剂、助剂或改性材料等）转变成实用的材料或制品的一种工程技术。在成型过程中，聚合物有可能受温度、压强、应力及作用时间等变化的影响，导致高分子降解、交联以及其他化学反应，使聚合物的聚集态结构和化学结构发生变化。因此加工过程不仅决定高分子材料制品的外观形状和质量，而且对材料超分子结构和织态结构甚至链结构有重要影响。要使成型过程中材料性能达到满意，不同材料、不同制品要采用不同的成型加工方法。一般塑料制品常用的成型方法有挤出、注射、压延、吹塑、模压、热成型等；橡胶制品有塑炼、混炼、压延或挤出、硫化等成型工序；纤维有纺丝溶体制备、纤维成型和卷绕、后处理、初生纤维的拉伸和热定型等。研究这些方法及所获得的产品质量与各种因素（材料的流动和形变的行为以及其他性质、各种加工条件参数及设备结构等）的关系，就是高分子材料成型加工这门技术的基本任务。

1.3 高分子材料制品类型及成型方法

高分子材料已经应用到国民经济各个领域，从人们的日常生活到航空航天及军工领域，到处都有高分子材料的身影。高分子材料可制作出耐腐蚀、耐辐射、耐紫外线和臭氧、耐高温（350℃）和耐低温（-100℃）、耐深度真空和超高压条件、阻燃、隔热、消音减震、具有磁性和生物医学功能等特殊性能的制品。高分子材料品种繁多，成型方法各异。对于塑料制品而言，根据其形状和使用性能分管材、薄膜、中空制品、汽车配件、日用品和建筑结构材料等，其成型方法与制品的适应性如表 1-1 所示。

表 1-1 各种成型方法与制品适应性

成型方法		成型时剪切速率范围/s ⁻¹	成型时压力/MPa	制品实例
一次成型	挤出成型	10 ² ~ 10 ³	几 ~ 几十	管、薄膜、片、板、棒、丝、网、异型材、电线电缆
	注射成型	10 ³ ~ 10 ⁴	高压 50 ~ 100、 低压 < 30	日用品、家电配件、汽车保险杠、浴缸、齿轮
	压延成型	10 ~ 10 ²		人造革、薄膜
	发泡成型		零点儿 ~ 几	隔热材料、漂浮材料、
	模压成型	1 ~ 10	几	密胺餐具、连接器件
	层压成型		高压 > 5、低压 0 ~ 5	电解槽、安全帽、印刷线路板
	传递模塑	~ 10	10 ~ 20	电器零件
	浇铸	~ 10		有机玻璃产品、尼龙滚轮
	滚塑	~ 10		大型容器、小船壳体
	搪塑、蘸浸			玩具、手套
二次成型	中空吹塑 热成型		几	瓶、管、桶、鼓状物 敞口容器、冰箱内胆、罩、广告牌
二次加工	表面处理	印刷、涂装、表面硬化、静电植绒等		
	黏接	溶剂黏接和热熔黏接		
	机械加工	钻、车、刨、切断、弯曲等		

1.4 高分子材料成型工业的发展现状和前景

高分子材料工业经历了将近一个半世纪, 19 世纪之前人们就开始使用天然高分子材料, 1823 年英国建立了世界上第一个橡胶加工厂, 生产防水胶布; 1826 年发现了橡胶进行双辊塑炼可提高可塑性, 为橡胶加工奠定了基础; 1869 年第一个人工半合成高分子材料硝酸纤维素用樟脑增塑后制得赛璐珞, 1870 年用柱塞式湿式挤出法和 1892 年用立式注射机使赛璐珞成型。1892 年确定了天然橡胶的干馏产物为异戊二烯结构, 这为高分子合成指明了方向。1907 年第一个合成高分子材料——酚醛树脂诞生, 随后又开发了氨基塑料, 这预示着热固性塑料时代的开始。与之相匹配的模压、注压等工艺技术开始发展。20 世纪 20 年代后多种乙烯基聚合物工业化, 使得热塑性塑料成型达到快速发展时期。在这一时期, 聚合理论、结构与性能关系的研究已十分深入, 各种聚合方法和成型加工技术的确立, 极大地推动了高分子材料工业发展。20 世纪 50 年代 Ziegler - Natta 发明了低压催化剂, 使得聚乙烯、聚丙烯的生产规模更大型化, 价格更便宜。同时各种通用橡胶(顺丁橡胶、异戊橡胶、乙丙橡胶等)大规模生产, 聚甲醛、聚碳酸酯、聚酰亚胺、聚砜、聚苯硫醚等工程塑料相继问世, 之后各种新型高强度、耐高温、导电、降解等功能高分子材料层出不穷, 促进了聚合物成型加工技术的迅速发展。表 1-2 列举了高分子材料成型加工技术的发展史。

表 1-2 高分子材料及其成型加工技术发展史

年代	高分子材料	成型加工工艺	成型加工方法
20 世纪 30 年代前	天然纤维素、赛璐珞、UF、MF	双辊混炼、溶解、纺丝、配制、加热塑化、粉末化	编、织、组合、双辊混炼加工、加硫、压制、挤出、柱塞式注射
20 世纪 30 年代后	PVC、PMMA、PS、LDPE		螺杆式注射、真空成型
20 世纪 40 年代	AS、ABS、PA、氟树脂、FRP、硅树脂		薄板片成型、发泡成型、吹塑成型
20 世纪 50 年代	HDPE、PP、PET、PC、POM	挤出、双向拉伸	螺杆式注射、薄膜挤出、异型挤出、泡沫挤出
20 世纪 60 年代	第二代高分子合金、CF、高分子/无机物复合材料		大型注射、挤出吹塑、大型吹塑、网挤出
20 世纪 70 年代	PPS、PE	大型挤出机、多螺杆挤出、偶联剂处理	嵌件成型、低发泡注射、多层吹塑、多层挤出
20 世纪 80 年代	PEEK、PES、第三代高分子合金、LCP、长纤维增强材料	相容性技术、反应挤出	拉伸吹塑、RIM、超大型挤出、精密成型、ST 板
20 世纪 90 年代	功能高分子、生物降解高分子、超细材料		三元吹塑、气体辅助注射成型、多层注射
21 世纪	分子设计	流体辅助塑料成型、振动成型、纳米复合成型	振动气体辅助注射成型、超临界流体辅助微发泡技术、全自动注射吹塑

目前三大合成高分子材料(合成树脂、合成橡胶、合成纤维)的世界产量已经超过 3 亿吨^[4], 其中 80% 以上为合成树脂及塑料。到 2004 年底, 中国五大合成树脂(聚乙烯、聚丙烯

烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯、ABS)的产量已经达1790万t,列世界第二位,国内消费量达3125万t;五大合成纤维(涤纶、腈纶、锦纶、丙纶、维纶)产量达1314万t,列世界第一位,国内消费量达1481万t;合成橡胶产量达148万t,列世界第三位,国内消费量达258万t。

近年来,由于加工技术理论的研究、加工设备设计和加工过程自动控制等方面都取得了很大的进展,产品质量和生产效率大大提高,产品适应范围扩大,原材料和产品成本降低,高分子材料成型加工工业更进入了一个高速发展时期。高分子材料的发展已经超过钢铁、水泥和木材三大传统的材料。

1.5 本课程的主要内容和要求

本课程是在读者学习了四大化学及化工原理、高分子化学、高分子物理、高分子材料等本专业基础课程上开设的,论及的内容主要是以塑料成型为主并涉及橡胶和化学纤维成型的基础理论、主要设备原理以及成型工艺。

本教材除第二章高分子材料成型基础理论外,以塑料成型所涉及的方法进行分章节,穿插讲述橡胶及纤维的成型。考虑目前塑料成型的发展趋势,把混合与塑炼、挤出、注射、中空吹塑成型工艺和所用设备原理着重进行介绍,其他压延、模压、涂层、浇铸、泡沫塑料成型、热成型等方法作为一章中的节简要介绍。限于时间和数学基础,对于一些理论问题不作过多的数学推导,而主要就其物理意义加以说明。对于不同的成型加工方法,由于品种繁多,产品千变万化,不可能逐一进行详细介绍,只对主要的典型品种进行讨论分析,学习者以此为基础,进行举一反三,对一些新的方法和技术发展能较好的理解和掌握。

学习时,要求了解和掌握成型设备和模具的基本构造和作用,了解设备的基本参数、性能和应用范围。结合高分子材料的成型工艺过程,尽可能对每种工艺所依据的原理、生产控制因素以及在工艺过程中所发生的物理与化学变化和它们对制品性能的影响具有清晰的认识和理解。

高分子材料成型工程是一门实践性很强的课程,除了课堂学习外,还需要通过实验、实习等环节对课程内容进一步理解和掌握,并且对于一些成型方法的还要学会实际操作,只有亲自动手操作,才能更好的分析、理解和掌握技术要领,发现和解决实际中的技术问题,培养动手能力和分析解决问题的能力,未来才能成为一个卓越的工程师。

第2章 高分子材料成型基础理论

2.1 概述

高分子材料相对于低分子材料而言，由于它的相对分子质量大，分子结构复杂，在成为有用制品的成型加工过程中，大多数聚合物都要求加热到黏流状态或熔融状态，在外力作用下，分子链相对滑移，产生流动而变形。达到一定形状后，要固定下来，成为制品，聚合物要发生物理或化学变化，如结晶、取向、交联、降解等。了解这些变化的特点，才能合理拟订成型工艺条件，选择设计成型设备及模具，分析产品质量影响因素，制备出合格的制品。

2.2 高分子材料的加工性

加工性质有两层含义：一是材料能否成型加工的性质，即可加工性，二是成型加工过程附加于材料的性质，如形状、尺寸及内部结构的变化。由于绝大多数高分子材料在成型加工时，都要借助加热、加压、剪切等方式使原来处于固态的成型材料达到熔融或至少是部分可流动状态，并继而获得模具所赋予的形状及尺寸。而热、力等的作用都不可避免地会改变聚合物内部的物理及化学结构，如结晶结构、结晶形态、结晶度、树脂分子及添加物的取向；如果成型温度过高，还可能会产生局部降解和不希望出现的过度交联。因此，高分子材料的成型加工过程必然会附加某些重要性质于其制品中。不仅如此，由于聚合物分子的结构特点所决定，聚合物分子运动以及由此带来的材料的变形具有力学松弛特性，因此，成型后的性质还强烈地依赖于时间。这一点在高分子材料成型中也是不容忽视的，因为这将对制品的因次稳定性带来极大影响。从这个意义上说，成型加工过程是重新塑造材料性质的一个过程。

2.2.1 高分子材料的聚集态及其加工性

绝大多数高分子材料在成型时，为使成型材料获得良好的流动性都要借助加热等手段，使成型材料温度升高。聚合物在温度变化时，其所处的力学状态也必然随之发生变化，即由室温下的坚硬固体（玻璃态）变为类似橡胶的弹性体（高弹态），最后，当温度高于其黏流温度后，成型材料即成为黏性流体（黏流态）。当聚合物处于玻璃态、高弹态、黏流态等不同的力学状态时，其力学性质的差别也较大，主要表现在材料的变形能力显著不同，因而在不同状态下所适合的成型加工方法也随之不同。

聚合物处于玻璃态，力学行为特点是内聚能大，弹性模量高（一般可达 $10^{10} \sim 10^{11}$ Pa）。在外力作用下，只能通过高分子主链键长、键角的微小改变发生变形，因此变形量很小，断裂伸长率一般在 0.01% ~ 0.1% 范围内，在极限应力范围内形变具有可逆性。其力学特点决定了在玻璃态下聚合物不能进行引起大变形的成型，但适于进行机械加工，如车削、挫削、制孔、切螺纹等。如果将温度降到材料的脆化温度 T_b 以下，材料的韧性会显著降低，在受到外力作用时极易脆断，因此， T_b 是塑料加工使用的最低温度。

线型非结晶型聚合物所处的力学状态为高弹态时，聚合物力学行为的特点为：弹性模量与玻璃态相比显著降低（一般在 $10^5 \sim 10^7$ Pa）。在外力作用下，分子链段可发生运动，因此变形

能力大大提高，断裂伸长率可达 100% ~ 1000%，所发生的形变可恢复，也就是说，当外力去除后，高弹形变会随时间延长而逐渐减小，直至为零。

聚合物在高弹态下的力学行为特点决定了在该状态下可进行较大变形的成型加工，如薄膜和纤维的拉伸成型、中空吹塑成型、热成型等。但需特别注意的是，因为此状态下发生的形变是可恢复的，因此，将变形后的制品迅速冷却至玻璃化温度以下是确保制品形状及尺寸稳定的关键。同时，由于高弹态下聚合物发生的形变是可恢复的弹性形变，因此，骤冷容易使制品内部产生内应力。

线型非结晶型聚合物所处的力学状态为黏流态时，聚合物力学行为的特点为：整个分子链的运动变为可能，在外力的作用下，材料可发生持续形变（即流动）。此时的形变主要是不可逆的黏流形变，在黏流态下可进行变形大、形状复杂的成型，如注射成型、挤出成型等，由于此时发生的形变主要是不可逆的黏流形变，因此，当制品温度从成型温度降至室温时不易产生热致内应力，制品的质量易于保证。

当聚合物熔体温度高于其降解温度 T_d 后，聚合物发生降解，使制品的外观质量和力学性能降低。从图 2-1 可更直观地理解温度、聚合物的力学状态以及成型加工三者的关系。

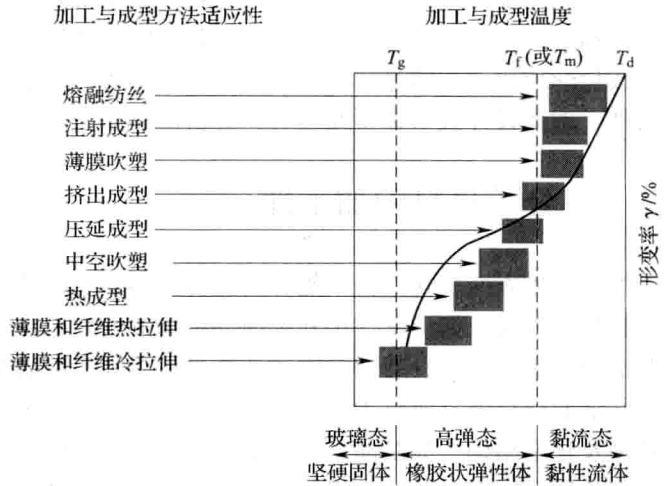


图 2-1 线型非结晶型聚合物的温度、力学状态及成型加工的关系

2.2.2 高分子材料的可挤压性

高分子材料在成型过程中经常要受到挤压作用，如在挤出成型机和注射成型机的料筒中、压延机的辊筒间以及模具型腔中都受到挤压作用。可挤压性是指聚合物材料通过挤压作用变形时，获得和保持此形状的能力。研究高分子材料的可挤压性，对正确选择聚合物材料和成型方法、确定和控制合理的成型工艺条件都具有十分重要的意义。

通常情况下处于固体状态的聚合物不能通过挤压而成型，只有在熔体或浓溶液状态下才具有可挤压性。聚合物熔体或浓溶液在受到挤压作用时将发生剪切流动和拉伸流动而变形，流动变形的难易程度取决于流体的黏度（包括剪切黏度和拉伸黏度）。黏度太低，虽然流动性好，但保持形状的能力较差，可挤压性不好；黏度过高，虽然保持形状的能力较好，但挤压困难，流动和成型不易，因此，也就不易获得形状，可挤压性也不好。因此，聚合物流体只有在合适的黏度范围内才具有良好的可挤压性。

材料的可挤压性还与加工设备的结构有关。在加工过程中聚合物的流动速率随压力的增大而增加，如图 2-2 聚丙烯在不同温度下的流动速率图。根据

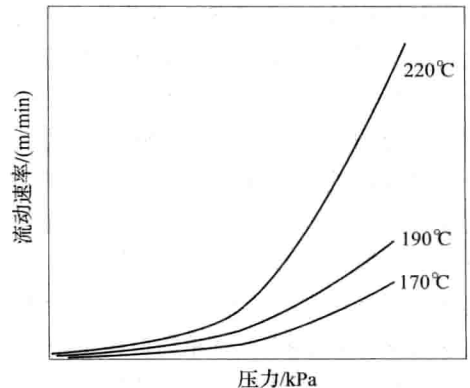


图 2-2 聚丙烯熔体流动速率与温度和压力的关系