



工业和信息化部“十二五”规划教材

# 塑料成型加工技术

张广成 史学涛◎编



西北工业大学出版社



工业和信息化部“十二五”规划教材

SULIAO CHENGXING JIAGONG JISHU  
**塑料成型加工技术**

张广成 史学涛 编

西北工业大学出版社

**【内容简介】** 本教材以塑料成型加工技术的原理为主线,全书共9章,内容包括绪论、塑料成型加工基础、塑料挤出成型技术、塑料注射成型技术、塑料压延成型技术、塑料压制成型技术、塑料二次成型加工技术、塑料浇铸成型与涂覆技术和塑料成型加工新技术。

本教材主要供高分子材料与工程专业高年级本科生使用,也可供材料学、材料加工工程、材料物理与化学、高分子化学与物理、材料工程等学科研究生选用,还可供从事高分子材料与工程领域的技术人员作为参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

塑料成型加工技术/张广成,史学涛编. —西安:西北工业大学出版社,2015.9  
工业和信息化部“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-5612-4599-6

I. ①塑… II. ①张… ②史… III. ①塑料成型—工艺—高等学校—教材 IV. ①TQ320.66  
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 215609 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西省富平县万象印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:18

字 数:437 千字

版 次:2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷

定 价:48.00 元

# 前 言

材料、能源、信息是 21 世纪科学与技术的三大支柱,材料只有通过成型加工才能成为具有一定形状、尺寸、性能的制品。高分子材料成型加工技术是材料加工工程领域不可缺少的分支,与金属材料、无机非金属材料等传统材料成型加工相比,其制品性能对成型加工技术的依赖度更高。在成型加工过程中,聚合物不仅会发生物理或者相态变化,也会发生化学变化。制品中聚合物的取向、结晶、内应力、交联、降解、气泡、多组分的分散程度等内在因素均依赖于成型加工过程而发生变化,模具结构、产品形状与尺寸、加工过程中温度、压力、时间、速度、外场等外在因素对制品最终性能也有着至关重要的影响。近年来,人们发现高分子材料的性能不仅依赖于其本身的大分子结构,而且越来越多地依赖于成型加工过程及其后处理过程所形成的形态结构。

塑料是高分子材料最主要的品种,塑料成型加工技术集中体现了高分子材料的整体成型加工技术水平。塑料成型加工技术隶属高分子材料加工工程学科,也是高分子材料加工工程学科最为活跃的研究领域与发展领域之一。它以高分子材料、高分子物理为最主要的专业基础,研究将塑料转变为塑料制品的方法与技术,涉及聚物流变学、聚合物热力学、分散与混合等基础理论,同时与塑料材料学、塑料模具设计、塑料成型机械、塑料制品设计、塑料性能测试技术紧密相关。塑料成型加工技术是一门既有一定理论指导又偏重于工程技术的多学科交叉的课程。塑料成型加工也是整个塑料工业中的一个重要环节,与树脂合成工业、助剂工业、模具工业、塑料机械工业、改性塑料工业密不可分,相互依存,相互发展,缺一不可。

本教材是在西北工业大学出版社已经出版的两本教材《塑料成型工艺》(1994 年)与《塑料成型机械》(1992 年)的基础上,参考国内外现有相关教材及论文,并结合了笔者多年来从事高分子材料成型加工技术的教学与科研的经验重新编写的专业教材。首先,由于原教材距今已经 20 多年,塑料成型加工技术发生了很大变化,教材内容明显严重老化,与现有发展很不协调;其次,经过多年教学改革,教学方式也获得不断进步,采用多媒体、动画演示等教学方式已成为教学主流。此外,工业和信息化部所属七所高校尚无“塑料成型加工技术”教材,而国内其他行业虽然也有反映“塑料成型机械”“塑料成型工艺”的相关教材或者专著,但与现行“高分子材料与工程”专业的定位与办学特色不符,难以选用。因此,需要尽快出版反映当今塑料成型加工技术发展的新教材。

本教材在原先两本教材的基础上重新提炼为九章内容。第 1 章为绪论,主要

讲述塑料成型加工技术与其他学科的关系、发展历史、分类、基本成型加工过程以及发展方向等；第2章为塑料成型加工基础，主要讲述塑料混合与分散、成型加工流变学、热力学等；第3章为塑料挤出成型技术，主要讲述挤出成型原理、挤出成型设备的工作原理、挤出理论以及典型塑料制品的挤出成型；第4章为塑料注射成型技术，主要讲述塑料注射成型机的工作原理以及结构，热塑性塑料注射成型工艺技术、热固性塑料注射成型工艺技术以及特种注射成型加工技术；第5章为塑料压延成型技术，主要讲述压延成型的工作原理、压延机的结构以及热塑性塑料典型压延制品的成型工艺；第6章为塑料压制成型技术，主要讲述液压机的工作原理以及塑料模压成型、传递模塑、冷压烧结、层压成型工艺技术；第7章为塑料二次成型加工技术，主要讲述中空吹塑、热成型以及薄膜双向拉伸技术；第8章为塑料浇铸与涂覆加工技术，主要讲述塑料浇铸和塑料涂覆两种二次加工技术；第9章为塑料成型加工新技术，主要讲述近年来逐渐发展的气辅注射成型、反应挤出成型、熔芯注射成型、自增强成型和快速成型等塑料成型加工新技术。

塑料成型加工技术与高分子物理、塑料材料学、塑料制品设计、塑料模具设计和塑料成型机械等专业知识密切相关。作为教学用书，笔者力求将相关基础课和专业基础课的基本理论和基本知识与本教材所论述的成型加工技术相结合，体现出不同成型加工技术的共性问题，因此编写了第2章即塑料成型加工基础。同时笔者也注意将本教材与塑料材料学、塑料制品设计和塑料模具设计等有关专业课程的教材进行区分与配合。

与其他教材相比，本教材力图做到：

### 1. 内容全面，重点突出

本教材在原教材基础上，进行了编写内容的精密推敲和优选。重点突出了塑料成型加工技术的共性问题、成型加工技术的基本原理和基本方法，强化了主要成型加工技术如挤出成型技术、注射成型技术、压延成型技术、压制成型技术、中空吹塑技术、热成型技术等，同时也对其他传统成型加工技术及新型成型加工技术进行了介绍。舍弃了原《塑料成型机械》教材中的液压传动、成型设备的机械零部件以及传动、电气控制等内容，舍弃了原《塑料成型工艺》教材中的塑料二次加工、塑料成型加工质量控制以及计算机在塑料成型加工中的应用等内容。因此，从事该行业的技术人员需要在实践中进一步学习相关知识，才能全面掌握塑料成型加工技术。

### 2. 层次分明，结构合理

本教材章节的编排遵循现有塑料成型加工技术的重要性次序以及知识体系的规律性，使读者在学习时能够由易到难、由简到繁、由基础到应用，循序渐进地掌握全书内容，以达到应用所学知识分析问题、解决问题的能力。每章后附有思考题与习题，以便于学生进一步巩固所学知识并利用这些知识求解一些实际问

题,加深对于所学知识的理解与应用。在参考文献中尽可能多地列出了可供参考的相关教材和专著,以便于读者能够了解国内外有关塑料成型加工技术的发展历史和发展动态,也便于进一步选择阅读其他书籍,弥补本教材对内容取舍的不足。鉴于相关刊物研究论文数量十分浩大,本教材的参考文献并未选取。

### 3. 适合教学,体现创新

与国内已经出版的同类教材相比,本教材致力于满足我国高分子材料与工程专业对塑料成型加工课程的教学要求,使学生能在50学时内掌握塑料成型加工技术的基本原理与基本知识,增加学生对塑料成型加工新技术的认知,提高学生对于塑料成型加工技术的创新能力。

本教材第1章至第3章、第5章、第7章和第9章由西北工业大学张广成教授编写,第4章和第6章由西北工业大学史学涛博士/讲师编写,全书由张广成教授统稿。

本教材承蒙西安交通大学郑元锁教授、西北工业大学王汝敏教授审阅,以及西北工业大学高分子材料与工程方向研究生张鸿鸣、范晓龙、雷蕊英、张新宇、陶敏等的校对并提出宝贵意见,在本教材的立项和编写过程中还得到西北工业大学出版社杨军、何格夫老师的支持与帮助,在此一并表示感谢。同时向本教材参考文献的作者致谢。

作为工业和信息化部“十二五”规划教材,我们力图将本教材编写成为一本精品教材,但由于水平有限、时间紧张等因素,错谬与疏忽在所难免,恳请读者给予批评指正,以便不断修正和提高。

编 者

2015年10月

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 塑料成型加工与其他学科的关系	1
1.2 塑料成型加工的发展历史	2
1.3 塑料成型加工技术的分类	6
1.4 塑料成型加工过程	8
1.5 塑料成型加工新技术及其未来发展	9
思考题与习题	10
第 2 章 塑料成型加工基础	11
2.1 概述	11
2.2 塑料混合与分散	11
2.3 塑料成型加工流变学	20
2.4 塑料成型加工的热力学	42
思考题与习题	54
第 3 章 塑料挤出成型技术	55
3.1 概述	55
3.2 挤出成型设备	56
3.3 挤出理论	69
3.4 典型塑料制品的挤出成型技术	86
思考题与习题	101
第 4 章 塑料注射成型技术	102
4.1 概述	102
4.2 注射成型设备	103
4.3 热塑性塑料注射成型技术	127
4.4 热固性塑料的注射成型技术	143
4.5 特种注射成型技术	148
思考题与习题	151
第 5 章 塑料压延成型技术	153
5.1 概述	153
5.2 压延成型原理	154

5.3 压延机 .....	156
5.4 压延成型工艺及其应用 .....	164
思考题与习题 .....	170
<b>第6章 塑料压制成型技术</b> .....	<b>171</b>
6.1 概述 .....	171
6.2 液压机的工作原理和分类 .....	171
6.3 模压成型的模具 .....	174
6.4 塑料模压成型技术 .....	175
6.5 塑料传递模塑成型技术 .....	184
6.6 塑料冷压烧结成型技术 .....	187
6.7 塑料层压成型技术 .....	190
思考题与习题 .....	193
<b>第7章 塑料二次成型加工技术</b> .....	<b>195</b>
7.1 概述 .....	195
7.2 中空吹塑成型 .....	195
7.3 热成型 .....	201
7.4 薄膜双向拉伸 .....	211
思考题与习题 .....	215
<b>第8章 塑料浇铸成型与涂覆技术</b> .....	<b>217</b>
8.1 浇铸成型技术 .....	217
8.2 涂覆成型技术 .....	225
思考题与习题 .....	235
<b>第9章 塑料成型加工新技术</b> .....	<b>237</b>
9.1 概述 .....	237
9.2 气体辅助注射成型 .....	237
9.3 反应成型技术 .....	247
9.4 熔芯注射成型 .....	256
9.5 注射压缩成型 .....	259
9.6 自增强成型 .....	262
9.7 快速成型 .....	270
思考题与习题 .....	277
<b>主要参考文献</b> .....	<b>278</b>



# 第 1 章 绪 论

## 1.1 塑料成型加工与其他学科的关系

材料、能源、信息是 21 世纪科学技术的三大支柱。材料科学与工程是一级学科,下设材料学、材料加工工程、材料物理与化学三个二级学科。目前材料通常分为金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料、复合材料和功能材料等类型,每一类材料都有自己的独特性能,相应也有自己的独特成型加工技术。

材料学科主要研究材料的组成与结构、材料制备、材料性能、材料应用等内容,而材料加工工程学科主要研究将材料成型加工为制品的方法与工艺,材料通过加工不仅能够获得具有一定形状和尺寸要求的制品,满足制品后续装配要求和使用性能要求,同时还可以进一步改变或者调控材料的微观结构,提高材料的性能。

高分子材料成型加工技术是材料加工工程领域不可缺少的分支,与金属材料、无机非金属材料等传统材料成型加工相比,其制品性能对成型加工技术的依赖度更高。在成型加工过程中,聚合物不仅会发生物理或者相态变化,也会发生化学变化。制品中聚合物的取向、结晶、内应力、多组分的分散程度、交联、气泡等内在因素均依赖于成型加工过程而发生变化,模具结构、产品形状与尺寸、加工过程中温度、压力、时间、速度、外场等外在因素对制品最终性能有着至关重要的影响。

近年来,人们发现高分子材料的性能不仅依赖于其本身的大分子结构,而且越来越多地依赖于成型加工过程及其后处理过程所形成的形态结构。例如,超高分子量聚乙烯经过凝胶挤出纺丝所形成的纤维,其拉伸强度、拉伸模量高达 7 GPa 和 100 GPa,分别是普通高密度聚乙烯的 200 倍和 100 倍,这一性能的突出变化在很大程度上就取决于加工过程中聚乙烯大分子链的高度取向以及串晶结构的形成。再比如,通过在管材挤出口模中增加超声波,使大分子链沿着管材环向取向,可以使聚乙烯管材的爆破内压提高 4 倍以上。

塑料成型加工技术隶属高分子材料加工工程学科,是高分子材料加工工程学科最为活跃的研究与发展领域之一。它以高分子材料、高分子物理等为基础,研究将塑料转变为塑料制品的方法与技术,涉及传质传热、分散与混合、固体力学、聚合物熔体流变学等基本工程原理,还涉及熔体流变学、高分子物理、高分子化学等高分子科学(见图 1-1)。同时,与塑料材料学、塑料模具设计、塑料成型机械、塑料制品设计紧密相关(见图 1-2)。塑料成型加工技术是一门既有一定理论指导又偏重于工程技术的多学科交叉的课程。

塑料成型加工也是整个塑料工业中的一个重要环节,与树脂合成工业、助剂工业、模具工业、塑料机械工业、改性塑料工业密不可分。树脂合成工业提供各种合成树脂原料,助剂工业提供塑料用各种添加剂,模具工业提供各种成型模具,塑料机械工业提供各种塑料成型设备,改性塑料工业提供以合成树脂为主要原料,添加各种添加剂的改性塑料,塑料加工业则进行各

种塑料制品的制造,六大行业相互依存、相互发展、缺一不可。

基本步骤	固体颗粒处理	成型工艺	初步成型	后期处理	
	熔化		模塑和注射		
	压力输送和抽吸		拉伸成型		
	混合		压延和涂膜		
	脱挥发分和杂质分离		塑模涂层		
高分子材料成型加工中所涉及的高分子知识					
传递现象	混合原理	固体力学	聚合物熔体流变学	高分子物理	高分子化学
工程原理			高分子科学		

图 1-1 塑料成型加工基本框架

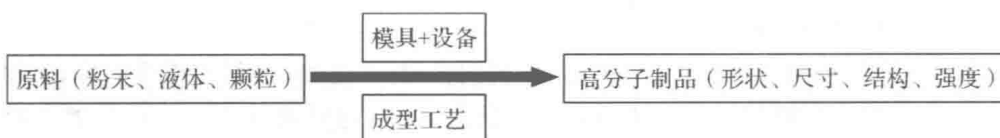


图 1-2 塑料成型加工包含的专业知识

## 1.2 塑料成型加工的发展历史

塑料是有机高分子材料中最主要的品种,其成型加工技术代表了高分子材料最主要的成型加工技术。相比于金属材料,塑料的发展只有近百年的历史,因此,塑料成型加工技术初期是从金属材料、无机材料(玻璃、陶瓷)以及橡胶等材料的成型加工技术中移植过来的,随后经过不断创新与发展,形成了比较独立和完善的塑料成型加工技术体系。因此,可以将塑料成型加工技术的发展历史分为移植期、改进期和创新期。表 1-1 给出了与塑料成型有关的设备发展历史,从这些设备的发展历史也能够看出塑料成型加工技术的发展进程。

表 1-1 塑料成型加工相关设备的发展历史

设备名称	加工	发明者	时间/年	用途
浸渍机	批料混合	T. Hancock	1820	再生胶
轧制机	批料混合	E. Chaffe	1836	蒸汽加热轧辊
压延机	涂层及片材成型	E. Chaffe	1836	布料和皮革涂层
硫化机	硫化作用	Charles Goodyear	1839	橡胶硫化
柱塞式挤出机	挤出	H. Bewly and R. Brooman	1845	电线包覆
螺杆挤出机	挤出	A. G. DeWolfe	1860	以阿基米德螺旋线为原理,设计出了螺杆和机筒,实现聚合物加料、压缩、排气、熔融、泵送等,是塑料与橡胶加工中最重要的重要的机器
		Phoenix Gummi werke	1873	
		W. Kiel and J. Prior	1876	
		M. Gray	1879	
		F. Shaw	1879	
		J. Royle	1880	

续表

设备名称	加工	发明者	时间/年	用途
注射机	注射模塑法	J. W. Hyatt	1872	加工赛璐珞
异向旋转非啮合双螺杆挤出机	挤出	P. Pfeleiderer	1881	增加混炼剪切
齿轮泵	挤出	W. Smith	1887	熔体增压
同向旋转啮合型双螺杆挤出机	混合及挤出	R. W. Easton	1916	增加混合效果,自洁作用
班伯里机	批料混合	F. H. Banbury	1916	橡胶混合
异向旋转啮合型双螺杆挤出机	挤出	A. Olier	1912	正排量泵,强制输送
异向旋转啮合双螺杆挤出机 Knetuolf	双转子混合	W. Ellerman	1941	剪切效果强
捏合机	混合与挤出	H. List	1945	布斯股份公司,混合物料
三角捏合段	连续混合	R. Erdmenger	1949	在 ZSK 挤出机中使用
嵌入式往复注射机	注射模塑法	W. H. Wilert	1952	取代柱塞式挤出法
ZSK	连续混合与挤出	R. Erdmenger, G. Fahr, and H. Ocker	1955	带混合元件的共转互啮合双螺杆挤出机
第一例塑料成型理论体系	热塑性塑料	E. C. Bernhardt, J. M. McKelvey, P. H. Squires, W. H. Darnell, W. D. Mohr D. I. Marshall, J. T. Bergen, R. F. Westover, etc.	1958	杜邦团队完成,挤出理论
传递混炼	连续混合	N. C. Parshall and P. Geyer	1956	单螺杆在一个螺槽被切断的柱体中
法向应力挤出机	挤出	B. Maxwell and A. J. Scalora	1959	两圆盘相对转动
连续式柱塞挤出机	挤出	R. F. Westover	1960	往复式柱塞
滑垫挤出机	挤出	R. F. Westover	1962	滑垫于固定圆盘上旋转
FCM	连续混合	P. Hold et al.	1969	连续式班伯里密炼机
可换式磁盘组	挤出	Z. Tadmor	1979	共旋式圆盘加工机

### 1.2.1 移植期

从 19 世纪 70 年代开始,硝化纤维素和酚醛塑料的出现以及 20 世纪初醋酸纤维素和脲醛塑料的出现,如何将这新型材料加工成为有用的塑料制品就成为工业界最为关心的技术问题。

此时,由于没有成型加工塑料的专业化设备,缺乏对于这些新材料基本成型原理的认识,人们自然想到了这几种塑料与已有传统材料在成型工艺上有许多相似之处,通过移植传统材料的成型加工技术和成型设备,或对传统成型加工技术、成型设备进行改进,可以实现塑料制品的成型加工并将其应用于日用品和工业零件。

借助于铸铁在加热到熔点以上具有良好流动性并可以填充模具形成金属铸件这一铸造技



色,这就要求有适合它们的成型加工技术将其高效而经济地制造为产品,加之各种尖端技术的发展对塑料制品的性能、结构复杂性和尺寸精度等提出了更高的要求,促使塑料成型加工技术快速发展。电子计算机和各种自动化控制仪表的普及,塑料成型设备的设计和制造技术不断取得的新成果,以及塑料成型加工理论研究的新进展,则为塑料成型加工技术的创新提供了条件。

1956年出现的往复式螺杆注射机,以及早前问世的双螺杆挤出机,使热敏性和高熔体黏度的热塑性与热固性塑料,都能采用高效的成型技术生产优质的制品。往复式螺杆注射机不仅提高了注射成型的效率,而且对于注射制品的质量也有明显的改善。双螺杆挤出机具有强制加料、自洁、高效混合、混炼、排气脱挥、自压缩泵送等一系列优点,使得塑料填充、塑料合金、塑料增强、反应挤出等一系列新材料、新技术的出现成为可能。这一时期出现的反应注射技术,使聚氨酯、环氧树脂和不饱和聚酯的液态单体或低聚物的聚合与成型能在同一生产线上一次完成;而滚塑技术的采用,使特大型塑料中空容器的成型成为可能。往复螺杆式注射、反应注射和滚塑等一批塑料独有的制品生产技术的出现,标志着塑料成型加工已从以改造各种移植技术为主的时期,转变到开发更能发挥塑料优异成型工艺性的时期。在这一时期成型加工技术的发展,也促使高效成型技术的制品生产过程从机械化和自动化,进一步向着连续化、程序化和自适应控制的方向发展。

进入创新时期的塑料成型加工技术与前一时期相比,可成型加工制品的范围和制品质量控制等方面均有重大突破。采用创新的成型技术,不仅使以往难以成型的热敏性和高熔体黏度的塑料可方便地成型为制品,而且也使以往较少采用的长纤维增强塑料、片状模塑料和团状模塑料也可大量用作高效成型技术的原材料。重量超过100 kg的汽车外壳和船体、容积超过50 000 L的特大容器、幅宽大于30 m的薄膜和宽度大于2 m的板材,以及重量仅几十毫克的微型齿轮、微型轴承和厚度仅几微米的超薄薄膜,在成型加工技术进入创新期后都已经成为塑料制品家族中的成员。计算机在塑料成型加工中的推广应用,不仅可对成型设备进行程序控制以实现制品成型过程的全自动化,而且通过发挥计算机的监控、反馈和自动调节功能,可使一些塑料制品的成型过程实现自适应控制,这对提高塑料制品生产效率、降低制品的不合格率和保证同一批次制品的质量指标接近等方面,均起重要作用。

塑料成型加工技术的发展仍在延续,其近期发展趋势是:由单一技术向组合型技术发展,如注射-拉伸-吹塑成型技术和挤出-模压-热成型技术等;由常规条件下的成型技术向特殊条件下的成型技术发展,如超高压和高真空条件下的塑料成型加工技术;由基本上不改变塑料原有性能的成型技术向赋予塑料新性能的成型加工技术发展,如双轴拉伸薄膜成型、发泡成型、交联挤出、振动挤出、凝胶纺丝、电磁动态挤出和注射等。

#### 1.2.4 我国塑料成型加工技术的发展

我国的塑料成型加工工业,在新中国成立之前几乎是个空白,仅上海、重庆、武汉和广州等少数几个大城市有十几家小型塑料制品生产厂。这些小厂一年的总产量只有约400 t赛璐珞、酚醛胶木粉和电玉粉的日用塑料制品。而且所用的塑料原料和主要成型加工设备多依赖从国外进口。新中国成立后,我国的各类塑料制品生产,才从无到有或从小到大得到迅速发展。

20世纪50年代我国塑料制品的产量,平均每年以71%高速递增。但由于原来的基础薄弱。这一时期塑料制品的年产量低,制品的类别单一,应用范围也比较窄,而且是以生产酚醛和脲醛等热固性塑料制品为主。

进入20世纪60年代后,由于大批量聚氯乙烯树脂的投产,我国塑料成型加工工业由以生产热固性塑料制品为主,转变为以生产热塑性聚氯乙烯塑料制品为主。塑料制品的应用也从日常生活开始扩展到农业和一些工业部门。这一时期我国塑料制品的产量,平均每年以18.6%的速度递增。

20世纪70年代由于从国外引进了数套大型树脂生产装置,树脂产量比60年代增长4.3倍。合成树脂产量的大幅度增长,带动了塑料制品生产工业的大发展。我国70年代塑料制品的总产量是60年代的5倍,年平均增长率为14.4%。到1979年我国塑料制品的年产量已达百万吨,而且产品的品种、结构也发生了较大变化。

20世纪80年代,改革开放政策的实施,为我国塑料成型加工工业的发展注入了新的活力。这一时期虽然塑料制品产量的基数较大,但仍以年平均14%的高速度递增,到1989年我国塑料制品的年产量已达 $300 \times 10^4$  t,80年代我国塑料制品生产发展的特点可概括为速度快、产量大、品种多和应用广。与前10年相比,我国塑料制品的生产不仅在产量和制品质量上均有明显提高,而且制品的品种大幅度增加,从而使塑料制品的应用扩展到国民经济的各个领域。

进入到21世纪,由于建材、农业、包装、日用品、汽车、交通运输、纺织业等行业对塑料制品的需求量猛增,我国塑料行业进入到高速发展期,塑料行业的增长速度保持在10%左右。2012年我国规模以上塑料制品加工业企业已达1.34万家,产值达1.67万亿元。当前我国的塑料机械、塑料制品和一些树脂生产量已经跃居世界第一,成为真正的塑料大国。塑料制品在各行各业的生产发展和技术进步中起着愈来愈重要的作用。

## 1.3 塑料成型加工技术的分类

### 1.3.1 按所属成型加工阶段划分

#### 1. 一次成型技术

一次成型技术,是指将聚合物熔体加热到流动温度或熔点以上,借助于聚合物熔体的黏流态实现聚合物造型。一次成型能将塑料原材料转变成具有一定形状和尺寸要求的制品或半成品,目前生产上广泛采用的挤出、注射、压延、压制、浇铸、涂覆等均为一次成型。一次成型所用原料称为成型物料,通常为粉料、粒料、纤维增强粒料、片料、糊料、碎屑料等,这些原料基本都含有添加剂。

#### 2. 二次成型技术

二次成型技术,是指利用一次成型半成品作为原料,借助于聚合物的高弹态实现塑料制品的再次成型或变形的技术。二次成型既能改变一次成型所得塑料半成品(如型材和坯件等)的

形状和尺寸,又不会使其整体性能受到破坏。目前生产上采用的双轴拉伸成型、中空吹塑成型和热成型等均为二次成型技术。

### 3. 二次加工技术

在保持一次成型或二次成型产物固态不变的条件下,为改变其形状、尺寸和表观性质所进行的各种工艺操作方法称为二次加工技术,也称作“后加工技术”。大致可分为机械加工、连接加工和修饰加工三类方法。

## 1.3.2 按聚合物在成型加工过程中的物理化学变化划分

### 1. 以物理变化为主的成型加工技术

塑料的主要组分聚合物在这一类技术的成型加工过程中,主要发生相态与物理状态转变、流动与变形和机械分离之类物理变化。在这种成型加工过程中,聚合物发生物理变化是其最主要的行为,同时可能会产生少量聚合物热降解、力降解、支化和轻度交联等化学变化,但这些化学变化对成型加工过程的完成和制品性能的影响不起主要作用。热塑性塑料的一次成型、二次成型以及大部分塑料的二次加工过程都是以物理变化为主的成型加工过程。

### 2. 以化学变化为主的成型加工技术

属于这一类的成型加工技术,在其成型加工过程中,聚合物或其单体有明显的交联反应或聚合反应,而且这些化学反应进行的程度对制品的性能有决定性影响。如加有引发剂的甲基丙烯酸甲酯的静态浇铸成型,加有固化剂的环氧树脂的静态浇铸成型,异氰酸酯与多元醇化合物的反应注射,聚烯烃接枝不饱和单体的反应挤出,热固性树脂的树脂传递模塑(RTM)成型技术等。

### 3. 物理和化学变化兼有的成型加工技术

热固性塑料如酚醛或者脲醛模塑粉的传递模塑、压缩模塑、注射是这类成型加工技术的典型代表,其成型过程首先通过将聚合物从玻璃态加热到黏流态以上,通过黏流态实现充模填充,再借助于高温实现聚合物的交联固化,从而脱模取出制品。在此成型加工过程中,第一阶段聚合物在加热、加压下的流动充模过程为主要的物理变化过程,第二阶段的聚合物在更高温度下的固化过程为化学变化过程。

## 1.3.3 按成型加工的操作方式划分

### 1. 间歇式成型加工技术

这类技术的共同特点是,成型加工过程的操作不能连续进行,各个制品成型加工操作时间并不固定;有时具体的操作步骤也不完全相同。这类成型加工技术的机械化和自动化程度都较低,手工操作多。用移动式模具的压缩模塑和传递模塑、冷压烧结成型、层压成型、静态浇铸、滚塑以及大多数二次加工技术均属此类。

### 2. 连续式成型加工技术

这类技术的共同特点是,其成型加工过程一旦开始,就可以不间断地一直进行下去。塑料

产品长度可不受限制,因而都是管、棒、单丝、板、片、膜之类的型材。典型的连续式塑料成型加工技术有型材的挤出,薄膜和片材的压延,薄膜的流延浇铸,压延和涂覆人造革成型和薄膜的凹版轮转印刷与真空蒸镀金属等均为连续式成型加工技术。

### 3. 周期式成型加工技术

这一类技术在成型加工过程中,每个制品均以相同的步骤、每个步骤均以相同的时间,以周期循环的方式完成工艺操作,主要依靠成型设备预先设定的程序完成各个制品的成型加工操作,因而成型过程中只有很少的人工操作。如全自动式控制的注射和注坯吹塑,以及自动生产线上的片材热成型和蘸浸成型等。

## 1.4 塑料成型加工过程

塑料成型加工一般均要经过三个阶段,第一是成型准备阶段,第二是成型加工阶段,第三是成型制品的后处理阶段。依据成型物料和成型制品的不同,各个阶段的复杂程度也不同。

### 1.4.1 成型准备阶段

成型准备阶段一般包含成型物料的制备,成型物料的预处理。

成型物料的制备又包含塑料的着色、塑料的填充、塑料增强、塑料合金化、热固性塑料的配制、热塑性糊塑料的配制等一系列用于后续一次成型用物料的准备。双螺杆挤出造粒工艺通常用于成型物料的制备过程中,即将聚合物从主喂料口加入到螺杆中,通过其他加料口再将粉料、液体原料、纤维等引入到螺杆中,通过双螺杆的强制喂料作用、高的混合分散作用,将不同种类、不同形状的原料进行混合,实现对成型物料的改性。通过螺杆结构的设计以及成型工艺的调控,双螺杆挤出工艺也可以适用于热固性原料各组分的混合。

成型物料的预处理包含成型物料的干燥与预热,热塑性塑料的粉碎。

成型物料的干燥是为了除去成型物料中的水分以及低分子挥发分。水分和低分子挥发分的存在,在成型加工的高温阶段会挥发成为气体,从而造成制品表面缺乏光泽、出现银丝等外观缺陷,对于透明塑料制品如聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、聚碳酸酯等影响特别严重;其次,水分也会在成型加工的高温阶段造成聚酯类、聚酰胺类等聚合物降解;第三,制品中的挥发分冷却凝固产生微小气泡,往往会造成制品力学性能和电性能降低。因此,不同塑料对其允许含有的水分要求不同。可以通过热风循环干燥、红外线干燥、真空干燥、沸腾床干燥和远红外干燥等一系列手段实现对成型物料的干燥。目前,挤出机和注射机料斗带有料斗干燥器,是一种十分方便和高效的除湿设备。

成型物料的预热一般针对热固性模塑料,特别适用于纤维增强热固性塑料的模压成型,预热可以提高模塑料在成型条件下的流动性,有利于降低成型压力,减小模具成型面的磨损,还有利于缩短成型时间、减小制品内应力。

热塑性塑料的粉碎是指将热塑性塑料废品、边角料、流道冷凝物等粉碎后为回收使用所做的准备工作,也包含将开炼机塑炼的片料进行粉碎以适应后续成型机的加料要求,还包含将粒料、碎片料破碎、磨细以适应于滚塑、粉末涂覆等工艺对成型物料的要求。



### 1.4.2 成型加工阶段

成型加工阶段是塑料制品生产过程中的主阶段,一次成型、二次成型、二次加工均属于成型加工阶段。在这一阶段中,塑料由原料变成为不同形状的制品。塑料挤出成型、注射成型、压延成型、压制成型、热成型、吹塑成型、双向拉伸成型、浇铸成型、涂覆成型等均为传统的成型加工阶段,本书将对这一阶段进行详细的叙述。此外,气体辅助注射成型、反应挤出、反应注射、熔芯注射成型、注射压缩成型、自增强成型、快速成型等新型成型加工技术也属于成型加工主阶段。

### 1.4.3 制品的后处理阶段

由成型加工阶段获得的制品还可能进行一些后处理操作,例如为减少内应力所进行的热处理,为减小制品翘曲变形所进行的定型处理,为减少制品因吸湿造成的尺寸变化所进行的调湿处理等均属于制品的后处理阶段。后处理依据材料、制品形状、成型工艺不同而异,并非所有塑料制品都要进行后处理。

## 1.5 塑料成型加工新技术及其未来发展

经过近百年的努力,伴随着整个塑料工业的整体发展,塑料成型加工技术也取得长足的发展,经典的挤出成型、注射成型、压延成型、模压成型、热成型、吹塑成型、铸塑成型等主要成型技术都衍生出许多新的成型加工技术,能够满足对于塑料制品结构、形状、尺寸、性能等更高的要求。

在挤出成型加工技术中,发展出了反应挤出、复合挤出、双螺杆及多螺杆挤出、排气式挤出、多级挤出、振动挤出、电磁塑化挤出等新型成型加工技术。在注射成型加工技术中,发展出了反应注射、气体辅助注射、水辅注射、流动注射、注射压缩、熔芯注射、共注射、层状注射等新型成型加工技术。在压延成型加工技术中,发展出了多层复合压延等新技术。在模压成型加工技术中,发展出了片状模塑料(SMC)连续化压制成型等新技术。在吹塑成型加工技术中,发展出了挤出-拉伸-吹塑、注射-拉伸-吹塑、双壁吹塑、模压吹塑、共挤吹塑、复合吹塑、三维吹塑等新型成型加工技术。近年来,基于增材制造的塑料制品 3D 打印等快速成型技术又将使塑料成型加工技术迈上一个新的历史时期。

与金属、无机非金属相比,塑料及其成型加工技术依然是一个年轻的行业,塑料成型加工领域的研究较多地集中在某些具体产品的制造技术及工艺条件控制方面,缺乏系统全面的科学研究基础,成型加工的理论研究十分薄弱,宏观问题考虑多,而对聚合物结构、填充体系、成型加工流变学、热力学等微观因素对制品性能的影响研究较少。随着科学技术的发展,塑料成型加工技术将以从制品设计到材料设计再到成型加工设计的整体全方位思路发展,成型加工技术对制品结构与性能的影响越来越强。

塑料成型加工是一门多学科交叉、科学与工程技术紧密结合的学科,塑料新材料的不断涌