

高等学校教材

# 塑料成型工艺

邱明恒 主编

塑料成型工艺

西

TQ320.66

出版社

西北工业大学出版社

7Q322.06  
F75

384697

高等学校教材

# 塑料成型工艺

邱明恒 主编



西北工业大学出版社

1994年10月 西安

(陕)新登字 009 号

【内容简介】 本书系统地介绍了塑料成型加工技术知识,其内容包括:绪论,塑料成型加工基础理论,塑料制品成型用物料预处理,塑料的一次成型、二次成型、二次加工技术,塑料成型加工质量控制,电子计算机在塑料成型加工中的应用等共八章。全书既全面论述了塑料制品生产常用的成型加工方法,又对挤塑、注塑、压缩模塑、中空吹塑和热成型等重要且具代表性的成型技术的原理、工艺流程、工艺控制和对塑料材料品种与制品类型的适应性作了较详细的阐述。各章末所附的思考题与习题可帮助读者更好地掌握该章的主要内容。

本书可作为高等工科院校塑料成型加工、高分子化工和高分子材料等专业的教材或教学参考书,也可供从事塑料制品设计、生产和应用的科技人员参考。



邱明桓 主编

责任编辑 刘 红

责任校对 享 邑

\*

©1994 西北工业大学出版社出版

(710072 西安市友谊西路 127 号 电话 5269046)

陕西省新华书店发行

西北工业大学出版社印刷厂印装

ISBN 7-5612-0702-6/TG·24 (课)

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14.625 字数: 349 千字

1994 年 10 月第 1 版

1994 年 10 月第 1 次印刷

印数: 1—5 000 册

定价: 9.50 元

---

购买本社出版的图书,如有缺页、错页的,本社发行部负责调换。

## 前 言

本书是在西北工业大学高分子材料专业所用《高分子材料成型加工基础》校内讲义中有关塑料成型加工部分的基础上,结合近几年的教学实践对原讲义作了较大补充修改而写成。在编写本书时,考虑到与“塑料成型机械”课程的分工,删去了有关螺杆挤出理论的内容;为说明任何技术的发展都需要继承与创新,在绪论中补充了有关塑料成型加工工艺发展概况的内容;为适应塑料制品生产发展的新情况,增补了第七章“塑料成型加工质量控制”和第八章“电子计算机在塑料成型加工中的应用”;鉴于涂凝成型、蘸浸成型和旋转成型,在成型原理上不同于典型的浇铸而更接近于在非塑料基体上涂布塑料层的涂覆技术,故将这三种成型方法总称为“模涂”,并归于一次成型技术“涂覆”之中。

作为教学用书,在编写时力求将有关基础课和专业基础课的基本理论和基本知识,与本书所论述的工艺知识相结合,同时也注意到塑料成型工艺这一课程与塑料材料学、塑料成型机械、塑料制品设计和塑料模具设计等有关专业课程的分工与配合。

本书第一至第六章由西北工业大学邱明恒执笔,第七章由西北工业大学陈长春执笔,第八章由西北工业大学张广成执笔,并由西北工业大学邱明恒任主编。全书承蒙西安交通大学化工系高分子材料科学与工程教研室茅素芬副教授审阅并提出宝贵意见,在本书的编写过程中还得到航空高等院校教学指导委员会所属材料科学与工程专业委员会委员蓝立文教授的关怀与帮助,在此一并表示感谢。

在编写过程中,虽然编者努力避免出现错漏,但错谬与疏忽在所难免,诚恳希望给予批评指正。

编 者

1993年9月

# 目 录

第一章 绪 论	1
§ 1-1 成型加工在塑料工业体系中的地位	1
§ 1-2 塑料成型加工工艺发展概况	1
一、移植时期	2
二、改造时期	2
三、创新时期	3
§ 1-3 塑料成型加工技术分类	4
一、按所属成型加工阶段划分	4
二、按聚合物在成型加工过程中的变化划分	4
三、按成型加工的操作方式划分	5
§ 1-4 我国的塑料成型加工工业	6
思考题与习题	6
主要参考文献	7
第二章 塑料成型加工基础理论	8
§ 2-1 引言	8
§ 2-2 聚合物成型的流变学基础	8
一、概述	8
二、聚合物流体流动的基本特性	9
三、聚合物熔体在管道中的流动分析	17
四、聚合物熔体剪切流动过程中的弹性表现	25
§ 2-3 塑料成型加工的热学基础	30
一、概述	30
二、聚合物的热物理性能	30
三、成型加工的热力学基础	33
四、成型加工过程中的热量传递	36
§ 2-4 物料混合原理	41
一、概述	41
二、混合与分散	42
三、混合机理	43
四、混合状态评定	44
思考题与习题	46

主要参考文献 .....	47
<b>第三章 塑料成型用物料的预处理 .....</b>	<b>48</b>
§ 3-1 引言 .....	48
§ 3-2 固体成型物料的干燥与预热 .....	48
一、概述 .....	48
二、粒状热塑性塑料的干燥 .....	48
三、热固性模塑料的预热 .....	50
§ 3-3 热塑性塑料的粉碎 .....	52
§ 3-4 热塑性塑料的造粒 .....	53
一、概述 .....	53
二、造粒工艺流程 .....	53
三、开炼机轧片造粒 .....	54
四、挤出机挤出条、带造粒 .....	54
§ 3-5 固体热塑性塑料的着色 .....	55
一、概述 .....	55
二、着色剂 .....	55
三、着色工艺 .....	58
§ 3-6 糊塑料的配制 .....	59
一、概述 .....	59
二、聚氯乙烯增塑糊的组成 .....	59
三、聚氯乙烯增塑糊的配制工艺 .....	60
思考题与习题 .....	62
主要参考文献 .....	62
<b>第四章 塑料一次成型 .....</b>	<b>63</b>
§ 4-1 引言 .....	63
§ 4-2 挤塑 .....	63
一、概述 .....	63
二、挤塑制品生产流程 .....	64
三、典型挤塑制品成型工艺 .....	67
四、挤塑技术新进展 .....	74
§ 4-3 注塑 .....	77
一、概述 .....	77
二、热塑性塑料注塑 .....	78
三、热固性塑料注塑 .....	92
四、注塑新技术 .....	94
§ 4-4 压延 .....	100
一、概述 .....	100

二、软质聚氯乙烯薄膜压延工艺 .....	100
三、硬质聚氯乙烯片材压延工艺 .....	102
四、聚氯乙烯压延人造革生产工艺 .....	103
§ 4-5 压制 .....	106
一、概述 .....	106
二、压缩模塑 .....	106
三、传递模塑 .....	113
四、冷压烧结成型 .....	116
五、层压成型 .....	118
§ 4-6 浇铸 .....	121
一、概述 .....	121
二、静态浇铸 .....	122
三、嵌铸 .....	124
四、离心浇铸 .....	125
五、流延浇铸 .....	126
§ 4-7 涂覆 .....	128
一、概述 .....	128
二、模涂 .....	128
三、平面连续卷材涂覆 .....	133
四、金属件涂覆 .....	135
思考题与习题 .....	137
主要参考文献 .....	140
<b>第五章 塑料二次成型</b> .....	<b>141</b>
§ 5-1 引言 .....	141
§ 5-2 薄膜双向拉伸 .....	141
一、概述 .....	141
二、平挤逐次双向拉伸 .....	142
三、泡管双向拉伸 .....	144
§ 5-3 中空制品吹塑 .....	144
一、概述 .....	144
二、注坯吹塑 .....	145
三、挤坯吹塑 .....	146
四、中空吹塑工艺过程控制 .....	148
§ 5-4 热成型 .....	149
一、概述 .....	149
二、热成型方法 .....	150
三、热成型制品生产过程 .....	157
思考题与习题 .....	159

主要参考文献·····	160
<b>第六章 塑料二次加工</b> ·····	<b>161</b>
§ 6-1 引言·····	161
§ 6-2 机械加工·····	161
一、概述·····	161
二、裁切·····	162
三、切削·····	163
四、激光加工·····	165
§ 6-3 连接加工·····	166
一、概述·····	166
二、机械连接·····	166
三、胶接·····	168
四、焊接·····	172
§ 6-4 修饰加工·····	175
一、概述·····	175
二、机械整饰·····	176
三、涂装·····	177
四、印刷·····	179
五、箔压印·····	180
六、植绒·····	182
七、镀金属·····	183
思考题与习题·····	187
主要参考文献·····	187
<b>第七章 塑料成型加工质量控制</b> ·····	<b>188</b>
§ 7-1 引言·····	188
§ 7-2 质量数据及其处理方法·····	188
一、概述·····	188
二、频数分布表·····	189
三、直方图·····	190
四、统计分析表·····	192
§ 7-3 统计质量控制·····	193
一、概述·····	193
二、 $\bar{x}-R$ 控制图的原理·····	194
三、 $\bar{x}-R$ 控制图的绘制·····	195
四、 $P$ 控制图·····	198
五、控制图的使用·····	200
§ 7-4 塑料制品质量检验·····	202



一、概述 .....	202
二、质量标准 .....	203
三、质量检验方式 .....	203
四、塑料制品质量检验方法 .....	204
思考题与习题 .....	206
主要参考文献 .....	206
<b>第八章 计算机在塑料成型加工中的应用 .....</b>	<b>207</b>
§ 8-1 引言 .....	207
§ 8-2 微型计算机简介 .....	207
一、概述 .....	207
二、微型计算机的组成 .....	208
§ 8-3 成型过程变量数值分析 .....	209
§ 8-4 成型过程的顺序控制 .....	210
一、概述 .....	210
二、可编程序控制器简介 .....	211
三、可编程序控制器对注射成型的顺序控制 .....	211
§ 8-5 成型过程的自适应控制 .....	215
一、概述 .....	215
二、自适应控制原理与控制方法的分类 .....	215
三、自适应控制系统的组成 .....	216
四、自适应控制在塑料成型中的应用 .....	216
§ 8-6 计算机辅助塑料成型加工 .....	219
一、实验设计和配方研究 .....	219
二、选材的专家系统 .....	220
三、微机控制熔融指数测定仪 .....	221
思考题与习题 .....	222
主要参考文献 .....	223

# 第一章 绪 论

## § 1-1 成型加工在塑料工业体系中的地位

任何一种材料的使用价值,不仅与其固有的优良使用性有关,而且也在很大程度上依赖于这种材料可采用的成型加工技术。这是因为任何一种材料如果不能用保质、高效和经济的成型加工技术制造成产品,那么无论其使用性多么优异,对使用者来说都毫无价值。例如,早在1953年美国杜邦公司就合成了均苯型聚酰亚胺,这种新型树脂具有耐高温、抗辐射、高绝缘、耐磨损和制品尺寸稳定性高等多方面的优异使用性能,但由于不溶不熔,很难用传统的塑料成型技术高效而经济地制成可供直接使用的制品,因而在相当长的一段时间未获得推广应用。因此,完整的塑料工业体系应当由材料制造和制品生产两大系统组成,而且缺一不可。组成塑料工业体系的两大系统有密切的相互依存关系,没有塑料材料制造系统,塑料制品生产系统就无成型加工对象;但没有了塑料制品生产系统,塑料制造系统的产物就无法转变成可直接为生活和生产服务的物品,其使用价值就不会为社会所承认。由以上所述不难看出,塑料的广泛应用及其对现代技术和人类生活方式的深远影响,不仅与其具有多方面的优异使用性能有关,而且也在很大程度上与其能方便而高效地成型加工成各种生活用品和工业零件有密切关系。塑料最突出的特性之一就是容易成型加工,利用大多数塑料在一定条件下呈现的“塑性”,可将其模塑成各种各样的制品,而且很多几何形状复杂的生活用品和尺寸精度高的工业零件,只需要一次成型即可得到成品。

塑料制品生产系统在塑料工业体系中的地位,决定了塑料成型加工是一门产品生产的技艺科学,这门科学所涉及的内容概括来说,就是将各种形态的塑料原材料转变为制品,从而在不同程度上增加材料的使用价值。要实现由材料到制品的转变就要采用适当的成型加工技术;研究这些技术的工艺过程及所得制品与材料的性能、成型设备与模具的结构和工艺参数等的关系,就是塑料成型工艺的基本任务。

塑料在实现由材料到制品转变的过程中所发生的各种变化均遵循一定的规律,为了认识并掌握这些变化规律,塑料成型加工工艺学也涉及多方面的理论问题。从本世纪30年代开始,人们不仅对各类塑料的成型加工工艺性进行了广泛的研究,而且对塑料的成型加工过程也进行了大量的实验研究工作,这些工作都力求将聚物流变学、化工传递工程和高分子化学与高分子物理学等有关学科的理论,应用于指导塑料成型的工艺过程分析和制品的质量控制。

## § 1-2 塑料成型加工工艺发展概况

从上一世纪中期塑料作为一种新型材料问世之后,就随之而来地产生了将其成型加工为制品的问题。作为一种新出现的材料,当时不可能有现成的制品成型加工技术可供采用。因此,塑料的成型加工首先从移植传统材料(如金属、玻璃、陶瓷和橡胶等)的成型加工技术

开始，中间经历对移植技术的改造时期，进而达到开发塑料专用成型加工技术的创新时期。

## 一、移植时期

19世纪70年代，随着硝化纤维素和酚醛塑料的出现，到20世纪初醋酸纤维素和脲醛塑料的相继问世，将这些新兴材料用有效的技术制造成有直接使用价值的物品，就成为塑料工业当时亟待解决的问题。

由于当时既没有成型塑料的专用设备，也缺乏对塑料成型工艺性的深刻了解，因而很自然地从业已问世的几种塑料与某些传统材料在工艺性上有若干相似之处出发，通过移植这些传统材料的成型技术并利用它们的成型设备，或对这些成型技术和设备稍加改进，就将其直接用于制造塑料的生活用品和工业零件。

在这一时期，从酚醛树脂与铸铁等金属材料在加热到熔点以上时都具有良好流动性这一相似之处出发，借鉴金属的铸造技术成型电绝缘用的酚醛树脂铸塑体，从而产生了早期的塑料“浇铸”技术。从酚醛塑料和脲醛塑料与橡胶一样，都能在加热和加压条件下转变成不溶不熔固体物这一相似处出发，将橡胶的压制成型技术移植到塑料制品生产部门，从而产生了现在称作“压缩模塑”的塑料成型技术。此外，热塑性塑料的中空吹塑技术，是从玻璃制品工业的吹瓶技术移植而来；塑料的压延成型技术，是从橡胶工业和造纸工业的辊筒加工技术得到启发；最初的柱塞式注塑，可追溯到金属的压力铸造技术；而现在成为塑料二次成型技术中发展最快的片材热成型技术，显然与金属的钣金加工有密切关系。

处于移植时期的塑料成型加工技术，由于各方面条件的限制，塑料容易成型加工这一突出特性尚未得到充分发挥，因而这一时期用移植技术制造的塑料制品性能较差，只能成型加工形状与结构简单的制品，而且制品的生产效率也比较低。这段时间虽然已经出现了几种改性纤维素类热塑性塑料，但其使用性远不如酚醛和脲醛等热固性塑料，从而使压缩模塑等特别适合成型热固性塑料的制品生产技术，在这一时期受到人们的更大重视。

## 二、改造时期

从20世纪20年代开始，由于大量塑料新品种的相继问世，机械加工工业已能为塑料制品生产部门提供多种专用成型设备，塑料成型加工理论研究已取得重大进展，塑料制品从传统材料产品的代用品逐渐成为一些工业部门不可缺少的零、部件。这一切都促使塑料成型加工部门，从以移植为主转变为以改造已有成型加工技术和传统材料成型技术为主。

1936年制成的塑料专用电加热单螺杆挤出机，是塑料成型加工技术进入改造时期的第一项重大成就。塑料单螺杆挤出机的应用，使热塑性塑料各种型材（棒、管、膜、片、板和各种异型材等）的高效连续化生产成为可能。带预塑筒注射机的问世，有可能将原来的塑化与注射不分的简单柱塞式注塑技术，改造成先将固体塑料塑化为熔体后再注射的预塑化注塑技术；这不仅提高了注塑制品的生产效率，而且也使注塑制品的质量明显提高。其它，如将金属的粉末冶金技术改造为可成型聚四氟乙烯等难熔塑料的冷压烧结成型技术，将金属的压铸技术改造为适合热固性模塑料成型的“传递模塑”技术，将搪瓷制品的传统生产技术改造成适合糊塑料成型的“涂凝模塑”技术等，都是这一时期塑料制品生产部门改造传统材料成型加工技术，以满足塑料成型加工需要所取得的重要成果。

塑料成型加工技术进入改造时期后，与前一时期相比出现了一些明显的新特点：其一是

塑料的成型加工技术更加多样化,从前一时期仅有的几种技术发展数十种技术,借助这几十种技术可将粉状、粒状、纤维状、碎屑状、糊状和溶液状的各种塑料原材料制成多种多样形状与结构的制品,如带有金属嵌件的模制品、中空软制品和用织物增强的层压制品等;二是塑料制品的质量普遍改善和生产效率明显提高,成型过程的监测控制和机械化与自动化的生产已经实现,全机械化的塑料制品自动生产线也已出现;其三是由于这一时期新开发的塑料品种主要是热塑性塑料,加之热塑性塑料有远比热固性塑料良好的成型工艺性,因此,这一时期塑料成型加工技术的发展,从以成型热固性塑料的技术为重点转变到以成型热塑性塑料的技术为主。目前塑料制品生产部门广泛采用的注塑、挤塑、压延和中空吹塑等成型技术,都是在这一时期迅速发展起来的。

### 三、创新时期

从20世纪50年代中期开始,由于出现了如聚碳酸酯、聚甲醛、聚苯醚、聚砜、聚酰亚胺、环氧树脂、不饱和聚酯和聚氨酯等一大批高性能的塑料,而这些新塑料品种的成型工艺性又各具特色,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、性能重现性和尺寸精度等提出了更高的要求,二者都促使塑料成型加工技术向更高的阶段发展。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提高创新提供了条件。

1956年出现的移动螺杆式注射机,以及同时问世的双螺杆挤出机,使热敏性和高熔体粘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。这一时期出现的反应注塑技术,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。往复螺杆式注塑、反应注塑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成型工艺性新成型加工技术的时期。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,在可成型加工塑料材料的范围、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粘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与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。电子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;而且通过发挥电子计算机的监控、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制品的质量指标接近相同等方面,均起重要作用。

塑料成型加工技术的发展仍在继续,其近期发展趋势是:由单一型技术向组合型技术发展,如注射—拉伸—吹塑成型技术和挤出一模压—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保质成型加工技术向赋予塑料新性能的变质型成型加工技术发展，双轴拉伸薄膜成型、发泡成型和借助电子束与化学交联剂使热塑性塑料在成型过程中进行交联反应的交联挤出是这方面的代表。

## § 1-3 塑料成型加工技术分类

经过 100 多年的移植、改造与创新，塑料成型加工到目前已拥有近百种可供制品生产采用的技术。将这些众多的技术进行科学的分类，不仅有助于加深对各种成型加工技术共性和特性的理解，而且也有助于按照塑料的工艺特性和制品的形状与结构特点正确选择成型加工技术。文献上报导的塑料成型加工技术分类方法很多，以下仅介绍几种比较广泛采用的分类方法。

### 一、按所属成型加工阶段划分

按各种成型加工技术在塑料制品生产中所属成型加工阶段的不同，可将其划分为一次成型技术、二次成型技术和二次加工技术三个类别。

#### 1. 一次成型技术

一次成型技术，是指能将塑料原材料转变成有一定形状和尺寸制品或半制品的各种工艺操作方法。用于一次成型的塑料原料常称作成型物料、粉状、粒状、纤维状和碎屑状固体塑料，以及树脂单体、低分子量预聚体、树脂溶液和增塑糊等，是常用的成型物料。这类成型技术多种多样，目前生产上广泛采用的挤塑、注塑、压延、压制、浇铸和涂覆等重要成型技术，均属于一次成型技术的范畴。

#### 2. 二次成型技术

二次成型技术，是指既能改变一次成型所得塑料半制品（如型材和坯件等）的形状和尺寸，又不会使其整体性受到破坏的各种工艺操作方法。目前生产上采用的只有双轴拉伸成型、中空吹塑成型和热成型等少数几种二次成型技术。

#### 3. 二次加工技术

这是一类在保持一次成型或二次成型产物硬固状态不变的条件下，为改变其形状、尺寸和表现性质所进行的各种工艺操作方法。由于是在塑料完成全部成型过程后实施的工艺操作，因此也将二次加工技术称作“后加工技术”。生产中已采用的二次加工技术多种多样，但大致可分为机械加工、连接加工和修饰加工三类方法。

一切塑料产品的生产都必须经过一次成型，是否需要经过二次成型和二次加工，则由所用成型物料的成型工艺性、一次成型技术的特点、制品的形状与结构、对制品表现的使用要求、批量大小和生产成本等多方面的因素决定。

### 二、按聚合物在成型加工过程中的变化划分

根据这一特征，可将塑料成型加工技术划分为以物理变化为主、以化学变化为主和兼有物理变化与化学变化的三种类别。

#### 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。在这类技术的成型加工过程中,有时也会出现一些聚合物力降解、热降解和轻度交联之类化学反应,但这些化学对成型加工过程的完成和制品的性能都不起重要作用。热塑性塑料的所有一次成型技术和二次成型技术,以及大部分的塑料二次加工技术都属于此类。

### 2. 以化学变化为主的成型加工技术

属于这一类的技术,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。加有引发剂的甲基丙烯酸甲酯预聚浆和加有固化剂液态环氧树脂的静态浇铸、聚氨酯单体的反应注塑,以及用液态热固性树脂为主要组分的胶粘剂胶接塑料件的加工技术,是这类成型加工技术的实例。

### 3. 物理和化学变化兼有的成型加工技术

热固性塑料的传递模塑、压缩模塑和注塑是这类成型技术的典型代表,其成型过程的共同特点是都需要先通过加热使聚合物从玻璃态转变到粘流态,粘流态物料流动取得模腔形状后,再借助交联反应使制品固化。用热固性树脂溶液型胶粘剂和涂料胶接与涂装塑料件的加工技术,由于需要先使溶剂充分蒸发,然后才能借助聚合物交联反应形成胶接接头或涂膜,故也应属于这一类别的加工技术。

## 三、按成型加工的操作方式划分

根据塑料成型加工过程操作方式的不同,可将其划分为连续式、间歇式和周期式三个类别。

### 1. 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。用这类成型加工技术制得的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各种型材的挤塑、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。

### 2. 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。一般来说,这类成型加工技术的机械化和自动化程度都较低,手工操作占有较重要的地位。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。

### 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,是这类成型加工技术的共同特点,因而成型加工过程可以没有或只有极少量的手工操作。全自动式控制的注塑和注坯吹塑,以及自动生产线上的片材热成型和蘸浸成型等是这类技术的代表。

除以上三种常见的分类方法外,还有按被成型塑料的类别将塑料成型技术划分为热塑性塑料成型、热固性塑料成型、增强塑料成型、泡沫塑料成型和糊塑料成型等;也有按成型过程中塑料被加热的温度和所承受的压力,将成型技术划分为高温成型与低温成型或高压成型

与低压成型等。

## § 1-4 我国的塑料成型加工工业

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。这些小厂一年总产量只有约 400t 的赛璐珞、酚醛胶木粉和电玉粉的日用塑料制品，而且所用的塑料原材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。

50 年代我国塑料制品的产量，平均每年以 71% 的高速度递增。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 60 年代后，由于 50 年代末大批量聚氯乙烯树脂投产，我国的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。

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。

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。

纵观我国塑料成型加工工业的发展情况可以看出，新中国成立后的 40 年，塑料制品生产的发展虽也经受过一些波折，但制品的产量和品种都是逐年稳步上升的，而且与合成树脂工业的发展、塑料成型加工设备制造业的发展和塑料制品的推广应用工作的开展密切相关。目前我国塑料制品的应用已扩展到生活、生产和尖端技术的各个领域，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。

### 思考题与习题

- [1-1] 塑料工业体系中的材料制造和制品生产两大系统间存在怎样的相互依存关系？
- [1-2] 为什么说塑料成型加工工艺学是一门产品生产的技艺科学？
- [1-3] 为什么塑料成型加工技术的发展要经历移植、改造和创新三个时期？
- [1-4] 移植期、改造期和创新期的塑料成型加工技术各有什么特点？
- [1-5] 为什么要对塑料的成型加工技术进行分类？
- [1-6] 按一次成型、二次成型和二次加工对塑料成型加工技术进行分类有什么优点和

缺点？

### 主要参考文献

- [1] 北京塑料研究所技术情报组,《国外塑料成型加工技术简介》,《塑料》,1973年第1期。
- [2] 成都科技大学主编,《塑料成型工艺学》,轻工业出版社,1983年。
- [3] [日] 高分子学会,《塑料加工原理及实用技术》(吴培熙、夏巨敏译),中国轻工业出版社,1991年。
- [4] Z. 塔德莫尔, C.G. 戈戈斯,《聚合物加工原理》(耿孝正等译),化学工业出版社,1990年。
- [5] 陈福荣,《2000年我国塑料制品生产发展趋势》,《塑料》,1993年第2期。



## 第二章 塑料成型加工基础理论

### § 2-1 引言

塑料成型加工是在力求保持或改进材料原有性能的条件下,将组成和物理形态各不相同的物料转变成制品。成型过程中物料表现出形状、结构和性能等多方面的变化,因而会涉及力学、传递工程、高分子化学和高分子物理等多个学科的基础理论。只有掌握这些相关的理论知识,才能对各种成型加工技术所依据的原理、成型加工过程中所发生的各种变化的本质、物料组成及工艺因素对制品性能影响的规律性等有较为深刻的了解。流动与变形和加热与冷却通常贯穿大多数成型加工过程的始终,而物料在配制和成型时的均化主要依靠混合实现。因此,本章着重介绍与塑料在成型加工过程中的流变、热量传递和混合有关的基础理论。

### § 2-2 聚合物成型的流变学基础

#### 一、概述

塑料因其主要组分有机聚合物,在加热和加压条件下容易流动与变形而具有良好的成型工艺性。热固性聚合物在流变过程中,因为不可避免地伴随有明显的化学变化,使其流变行为的描述与分析复杂化;加之当今热塑性塑料制品在产量和用途的广泛性上都远远超过热固性塑料制品,所以聚合物成型流变学的主要研究对象是热塑性聚合物。

几乎所有的塑料成型技术,都是依靠外力作用下聚合物的流动与变形实现从塑料原材料或坯件到制品的转变。重要的一次成型技术,如挤塑、注塑、压延、压缩模塑、传递模塑、浇铸和涂覆等,都是借助聚物流体的流动实现造形过程。聚物流体,可以是处于流动温度或熔点之上的聚合物熔体,也可以是在不高的温度下仍能保持良好流动性的聚合物溶液或分散体。这几种流体形式的热塑性聚合物,在塑料的成型中都有应用;但聚合物熔体在挤塑、注塑、压延和传递模塑等重要成型技术中占有特别重要的地位。因此,有关热塑性聚物流变行为的讨论将以熔体为主要对象。

在实际成型条件下,即使是热塑性聚合物,其流变行为也十分复杂,例如,低密度聚乙烯熔体在高剪切应力作用下,不仅有切变粘性流动,而且流动过程中还常伴随有弹性效应和热效应,有时还会发生一定程度的热氧化降解与交联之类的化学反应。这些流变之外的物理效应和化学反应,无疑会对热塑性聚合物的流变行为产生多方面的影响;加之聚物流变学理论目前尚不十分完善,一些流变参数间的定性关系多属经验性的,若干定量分析方法还必须附加许多假定条件;这些都使由流变理论分析和计算得出的结果与真实情况并不完全相符。但聚物流变学已有的研究成果,对塑料成型方法的选择、成型工艺条件的确定和制品质量的改进等仍具有重要的指导作用。