



21 世纪高职高专系列规划教材

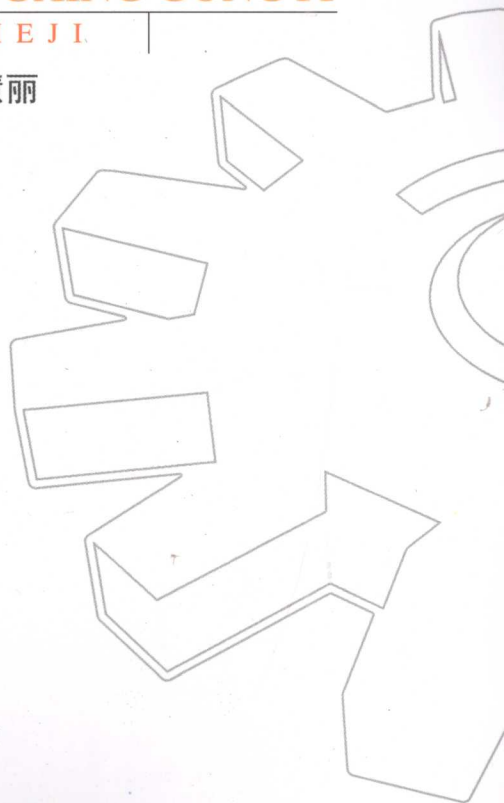
高职高专“十一五”规划教材



塑料成型工艺 与模具设计

SULIAO CHENGXING GONGYI
YU MUJU SHEJI

主编 李占君 赵慧丽



 吉林大学出版社

要目容内

本书主要介绍塑料成型工艺与模具设计的基本知识、基本理论和基本方法。全书共分10章。第1章介绍塑料成型工艺与模具设计的发展概况；第2章介绍塑料成型工艺与模具设计的基本概念；第3章介绍塑料成型工艺与模具设计的基本原理；第4章介绍塑料成型工艺与模具设计的基本方法；第5章介绍塑料成型工艺与模具设计的基本设备；第6章介绍塑料成型工艺与模具设计的基本材料；第7章介绍塑料成型工艺与模具设计的基本工艺；第8章介绍塑料成型工艺与模具设计的基本设计；第9章介绍塑料成型工艺与模具设计的基本制造；第10章介绍塑料成型工艺与模具设计的基本应用。本书可作为高等院校塑料成型工艺与模具设计专业及相关专业的教材，也可供从事塑料成型工艺与模具设计工作的工程技术人员参考。

塑料成型工艺与模具设计

ISBN 958-5-2801-4030-8

主编 李占君 赵慧丽

主 编 李占君 赵慧丽

副主编 王霞 王志刚

参编人员 苏华礼 王飞

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第205340号

江苏工业学院图书馆
藏书章

本书主要介绍塑料成型工艺与模具设计的基本知识、基本理论和基本方法。全书共分10章。第1章介绍塑料成型工艺与模具设计的发展概况；第2章介绍塑料成型工艺与模具设计的基本概念；第3章介绍塑料成型工艺与模具设计的基本原理；第4章介绍塑料成型工艺与模具设计的基本方法；第5章介绍塑料成型工艺与模具设计的基本设备；第6章介绍塑料成型工艺与模具设计的基本材料；第7章介绍塑料成型工艺与模具设计的基本工艺；第8章介绍塑料成型工艺与模具设计的基本设计；第9章介绍塑料成型工艺与模具设计的基本制造；第10章介绍塑料成型工艺与模具设计的基本应用。本书可作为高等院校塑料成型工艺与模具设计专业及相关专业的教材，也可供从事塑料成型工艺与模具设计工作的工程技术人员参考。

ISBN 958-5-2801-4030-8
定价：28.00元

吉林大学出版社

吉林大学出版社
地址：长春市明远路451号 邮编：130021
发行部电话：0431-82100826
网址：<http://www.jlu.cn>
E-mail: jlu@njl.hj.cn

内容提要

本书在介绍高分子聚合物的结构特点与性能、塑料的组成与工艺特性、塑料成型制件的结构工艺性的基础上,围绕塑料成型工艺与模具设计两大主题,并结合实际生产中各种塑料模具所占的比重,介绍了注射模、挤出模以及吹塑模。由于塑料注射成型的方法应用最为广泛,同时,相对其他塑料模具而言,注射模具的设计最为复杂和困难,因此,为了使读者能够突破塑料模具设计的难点,教材重点介绍了注射成型工艺和注射模的设计。另外,本书还对塑料模具标准件及塑料模具材料的选用、塑料模设计程序及其试模与验收和塑料模具 CAD/CAM/CAE 技术作了简要介绍。

图书在版编目(CIP)数据

塑料成型工艺与模具设计/李占君,赵慧丽主编. —长

春:吉林大学出版社,2008.12

(21世纪高职高专系列规划教材)

ISBN 978-7-5601-4030-8

I. 塑… II. ①李…②赵… III. ①塑料成型—工艺—高

等学校:技术学校—教材②塑料模具—设计—高等学校:

技术学校—教材 IV. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 202340 号

书 名: 21 世纪高职高专系列规划教材

塑料成型工艺与模具设计

作 者: 李占君 赵慧丽 主编

责任编辑、责任校对: 邵宇彤

吉林大学出版社出版、发行

开本: 787×1092 毫米 1/16

印张: 15.25 字数: 287 千字

ISBN 978-7-5601-4030-8

封面设计: 超视觉工作室

北京市彩虹印刷有限责任公司 印刷

2008 年 12 月 第 1 版

2008 年 12 月 第 1 次印刷

定价: 24.50 元

版权所有 翻印必究

社址: 长春市明德路 421 号 邮编: 130021

发行部电话: 0431-88499826

网址: <http://www.jlup.com.cn>

E-mail: jlup@mail.jlu.edu.cn

出版说明

作为高等教育的重要组成部分,高等职业教育是以培养具有一定理论知识和较强实践能力,面向生产、面向服务和管理第一线职业岗位的实用型、技能型专门人才为目的的职业技术教育,是职业技术教育的高等阶段。目前,高等职业教育教学改革已经从专业建设、课程建设延伸到了教材建设层面。根据国家教育部关于要求发展高等职业技术教育,培养职业技术人才的大纲要求,我们组织编写了这套《21世纪高职高专系列规划教材》。本系列教材坚持以就业为导向,以能力为本位,以服务学生职业生涯发展为指导思想,以与专业建设、课程建设、人才培养模式同步配套作为编写原则。

从专业建设角度,相对于普通高等教育的“学科性专业”,高等职业教育属于“技术性专业”。技术性专业的知识往往由与高新技术工作相关联的那些学科中的有关知识所构成,这种知识必须具有职业技术岗位的有效性、综合性和发展性。本套教材不但追求学科上的完整性、系统性和逻辑性,而且突出知识的实用性、综合性,把职业岗位所需要的知识和实践能力的培养融会于教材之中。

从课程建设角度,现有的高等职业教育教材从教育内容上需要改变“重理论轻实践”、“重原理轻案例”,教学方法上则需要改变“重传授轻参与”、“重课堂轻现场”,考核评价上则需改变“重知识的记忆轻能力的掌握”、“重终结性的考试轻形成性考核”的倾向。针对这些情况,本套教材力求在整体教材内容体系以及具体教学方法指导、练习与思考等栏目中融入足够的实训内容,加强实践性教学环节,注重案例教学,注重能力的培养,使职业能力的培养贯穿于教学的全过程。同时,使公共基础类教材突出职业化,强调通用能力、关键能力的培养,以推动学生综合素质的提高。

从人才培养模式角度,高等职业教育人才的培养模式的主要形式是产学结合、工学交替。因此,本教材为了满足有学就有练、学完就能练、边学边练的实际要求,纳入新技术引用、生产案例介绍等来满足师生教学需要。同时,为了适应学生将来因为岗位或职业的变动而需要不断学习的情况,教材的编写注重采用新知识、新工艺、新方法、新标准,同时注重对学生创造能力和自我学习能力的培养,力争实现学生毕业与就业上岗的零距离。

为了更好地落实指导思想和编写原则,本套教材的编写者既有一定的教学经验、懂得教学规律,又有较强的实践技能。同时,我们还聘请生产一线的技术专家来审稿,保证教材的实用性、先进性、技术性。总之,该套教材是所有参与编写者辛勤劳作和不懈努力的成果,希望本套教材能为职业教育的提高和发展作出贡献。

这就是我们编写这套教材的初衷。

前 言

塑料具有原料丰富、制造方便、加工容易、质地优良、轻巧耐用、用途广泛和投资效益显著等一系列优点，目前世界上塑料的体积产量已经超过了钢铁，成为人类使用的主要材料。世界各国都非常重视塑料工业的发展，其低成本、高效益为制造业带来了巨大的财富。

塑料工业是一个复杂的系统，是集原材料、加工工艺、制造设备和成型模具等一系列科技产业为一体的高科技产业。目前，我国的塑料工业的总体水平与世界上发达国家相比还有一定差距，这就要求我们在注重科技进步和基础建设、开展相应的基础性研究的同时，要把开展应用性研究以及培养急需的专业技术人才放在同等重要的地位。

本书是根据 1993 年原全国高等专科学校模具专业教育协会（现改为中国模具协会模具专业专科教育委员会）第二次全体会议审定的模具专业“塑料成型工艺与模具设计”课程教学大纲组织编写的。

本教材结合高等专科学校的特点，对各部分内容进行了合理的安排，尽量做到内容丰富、重点突出。由于注射成型应用广泛，是机械制造、汽车、摩托车、家用电器、电子通讯、建筑、仪器仪表、医药器材和日用品等行业的塑料制件的主要成型方法，因此，本书重点对注射成型的工艺与模具设计进行较系统、全面的讨论和分析。另外本书还介绍了挤出成型和吹塑成型的工艺与模具设计，使读者对塑料的成型加工有一个较为全面的了解与认识。

本书由李占君、赵慧丽任主编。各章节分工如下：第一章，第二章由李占君编写；第三章第一、二、三、四节由赵慧丽编写；第三章第五、六、七、八节由王霞编写；第四章由王志刚编写；第五章、第六章、第七章由苏华礼编写；第八章由王飞编写。本书在出版过程中得到了安阳工学院机械系等单位的关心及大力支持，在这里一并表示最诚挚的感谢。

由于编者水平有限，时间仓促，书中难免存在错误疏漏之处，恳请使用本书的老师、学生提出宝贵意见。

编 者

2008 年 1 月

目 录

第一章 绪论	1
思考题	5
第二章 塑料及其常用成型方式	6
第一节 塑料概论	6
第二节 塑料的工艺性能	15
第三节 塑料制品的工艺性	21
第四节 注射成型	41
第五节 挤出成型	48
第六节 吹塑成型	50
思考题	54
第三章 注塑模具设计	55
第一节 注射模概述	55
第二节 浇注系统设计	61
第三节 分型面的选择与排气系统的设计	86
第四节 成型零件设计	92
第五节 导向与定位机构设计	117
第六节 顶出脱模机构设计	123
第七节 侧向分型与抽芯机构的设计	144
第八节 模具温度调节系统设计	159
思考题	165
第四章 挤塑模设计	167
第一节 概述	167
第二节 挤出机头的典型结构及设计	170
思考题	183
第五章 吹塑模设计	184
第一节 概述	184
第二节 吹塑模的类型及设计要点	193
第三节 吹塑模具典型结构	197
思考题	199
第六章 注塑模设计程序	200
第一节 注塑模设计的基本步骤	200
第二节 注塑模设计实例	204
思考题	209

第七章 塑料模具标准件及模具材料的选用	210
第一节 塑料模具标准件的选用	210
第二节 塑料模具材料的选用	214
思考题	222
第八章 模具 CAD/CAM/CAE 技术简介	223
第一节 概述	223
第二节 CAD/CAM/CAE 的基本概念	224
第三节 CAD/CAE/CAM 常用软件简介	225
思考题	235
参考文献	236
11	塑料模具设计 第四章
81	塑料模具设计 第五章
02	塑料模具设计 第六章
13	塑料模具设计 第七章
22	塑料模具设计 第八章
22	塑料模具设计 第九章
10	塑料模具设计 第十章
80	塑料模具设计 第十一章
30	塑料模具设计 第十二章
111	塑料模具设计 第十三章
231	塑料模具设计 第十四章
141	塑料模具设计 第十五章
021	塑料模具设计 第十六章
201	塑料模具设计 第十七章
101	塑料模具设计 第十八章
101	塑料模具设计 第十九章
071	塑料模具设计 第二十章
281	塑料模具设计 第二十一章
181	塑料模具设计 第二十二章
181	塑料模具设计 第二十三章
191	塑料模具设计 第二十四章
101	塑料模具设计 第二十五章
191	塑料模具设计 第二十六章
001	塑料模具设计 第二十七章
001	塑料模具设计 第二十八章
101	塑料模具设计 第二十九章
001	塑料模具设计 第三十章

第一章 绪论

自 20 世纪 40 年代研制出聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚乙烯等塑料产品以来，塑料工业的发展日新月异，新材料、新工艺、新技术不断涌现，产品产量不断翻番，塑料已经成为继金属材料、纤维材料、硅酸盐材料之后的第四大材料。以塑料代替金属、木材等材料已经成为塑料发展的趋势。近几年来，由于生产设备、技术的提高和发展，塑料产品也已不只是单纯的压制产品，注射产品等也越来越多地应用于工业、家电等各行业。这些塑料产品的应用，提高了工业产品的附加值。

一、塑料工业在国民经济中的地位

塑料由于具有一些其他传统材料所没有的特点，如重量轻、耐腐蚀、电绝缘性好、易于成型、生产效率高以及成本低廉等，所以塑料工业发展速度惊人。塑料已经从过去作为副产物和代用材料，变成如今不可缺少的、不可代替的新兴材料，它已深入到国民经济的各个部门。

进入 20 世纪 70 年代以来，用模具生产的塑料制品（简称塑件）具有高精度、高复杂程度、高一致性、高生产率和低消耗等特点，因此广泛用于仪器、仪表、家用电器、汽车等行业。塑料已经成为金属的良好代用材料，出现了金属零件塑料化的趋势。

例如，用玻璃钢制造的火箭外壳，不但重量轻，制造劳动量小，而且结构紧凑，性能良好；塑料在军用飞机上的应用，从玻璃钢防弹油箱和雷达罩开始，目前已发展到几千种零件都用塑料制造；ABS 塑料有 1/4 用于汽车、1/3 用于家用电器和视听设备中；在建材上，各种塑料门窗、管道、地板革等应用日趋广泛，到 2010 年，塑料门窗和塑料排水管的普及率将达到 30%~50%；采用塑料薄膜育种能使水稻提早收割 15~26 天，增产 15%~20%；塑料温室能够全年生长作物（辣椒、西红柿、黄瓜、茄子等），可以大大缓解淡季蔬菜供应紧张；塑料可以制造假牙、假肢，制造血管以及人工肾脏等等；塑料还可以用来提取链霉素，作为药物包装材料，制造医疗器械等。

由此可见，塑料工业在促进现代科技发展、加速国防现代化建设、推进农业现代化、改善和提高人们生活方面，发挥着越来越重要的作用。

二、模具工业在国民经济中的重要性

模具是指利用其本身特定形状去成型具有一定形状和尺寸的制品的工具，它是工业生产中用来成型制品的重要工业装备，是国民经济各部门发展的重要基础之一。模具是“效益放大器”，用模具生产的最终产品的价值，往往是模具价值的几十倍、上百倍。模具直接影响着新产品的开发和老产品的更新换代，影响着产品质量的提高和经济效益的增长。模具技术已成为衡量一个国家产品制造水平高低的重要标志，决定着产品质量、效益和新

产品的开发能力。美国工业界认为模具工业是工业的基石,日本则称模具是促进社会繁荣富裕的动力。的确,没有高水平的模具工业,就没有高水平的机电工业。

模具工业在我国国民经济中的重要性,表现在国民经济的五大支柱产业——机械、电子、汽车、石油化工和建筑上。它们都要求模具工业的发展与之相适应,以满足五大支柱产业发展的需要。鉴于振兴我国模具工业的重要性,1989年3月国务院颁布的《关于当前产业政策要点的决定》把模具列为机械工业技术改造序列的第一位、生产和基本建设序列的第二位。

三、我国塑料工业及塑料模具工业的发展概况

新中国成立前夕,我国只有上海、广州、武汉、重庆等一些大城市有作坊式的塑料制品加工厂,生产酚醛和赛璐珞等塑料制品,1949年全国总产量仅为200 t。1958年新中国第一套聚氯乙烯树脂生产装置在锦西化工厂建成,标志着我国塑料工业步入快速发展时期。

从20世纪70年代末开始,国家发展轻工业的“六优先”和“对内改革、对外开放”方针为全国塑料制品工业创造了迅猛发展的机遇。在当时那个大发展时期,塑料制品的花色品种数增加到以千万计,几乎所有现存于世界上的各种用途的塑料制品在中国都能够生产,基本上可满足国民经济各个领域和人民日常生活对塑料制品的需求。

我国塑料工业经过多年的发展,不仅使塑料制品总产量跃居世界第二位,而且在塑料加工、产品开发及应用等方面都已步入先进大国行列。

20世纪80年代以来,在国家产业政策和与之配套的一系列国家经济政策的支持和引导下,我国模具工业发展迅速,年均增速为13%。1999年,我国模具工业产值为245亿元,其中塑料模约占30%左右。在未来的模具市场中,塑料模在模具总量中的比例还将逐步提高。

我国塑料模工业从起步到现在,历经半个多世纪,有了很大发展,模具水平有了较大提高。在大型模具方面已能生产122 cm大屏幕彩电电壳注射模具、6.5 kg大容量洗衣机全套塑料模具以及汽车保险杠和整体仪表板等塑料模具;精密塑料模具方面,已能生产照相机塑料件模具、多型腔小模数齿轮模具及塑封模具;成型工艺方面,多材质塑料成型模、高效多色注射模、镶件互换结构和抽芯脱模机构的创新设计也取得了较大进展,气体辅助注射成型技术的使用更趋成熟;在制造技术方面,CAD/CAM/CAE技术的应用水平上了一个新台阶,以生产家用电器为代表的企业,陆续引进了相当数量的CAD/CAM系统,如美国EDS的UGⅡ、美国Parametric Technology公司的Pro/Engineer等软件。这些系统和软件的引进,虽花费了大量资金,但在我国模具行业中,实现了CAD/CAM的集成,并能支持CAE技术对成型过程如充模和冷却等进行计算机模拟,取得了一定的技术经济效益,促进和推动了我国模具CAD/CAM技术的发展。近年来,我国自主开发的塑料模CAD/CAM系统有了很大发展,主要有北航华正软件工程研究所开发的CAXA系统、华中科技大学开发的注塑模HSC1.0系统及CAE软件等。这些软件具有适应国内模具的具体情况、能在微机上应用且价格较低等特点,为进一步普及模具CAD/CAM技术创造了良好条件。在模具材料方面,近年来,国内已较广泛地采用一些新的塑料模具钢,如P20, 3Cr2M0, PMS, SMⅠ, SMⅡ等。

四、塑料模具的发展动向

(一) 成型理论的进展

随着塑料件的大型化和复杂化,模具的重量达数吨至十多吨,若只凭经验设计,往往因设计不当造成模具报废,数十万元的费用将毁于一旦。所以,模具设计已逐渐向理论设计方向发展,主要包括模板刚度、强度计算和充型流动理论的建立。目前,有关挤出成型的流动理论和数学模型已建立,并已有应用;有关注射成型的流动理论和数学模型尚在讨论,注射成型的塑料熔体在一维、二维简单模腔中流动行为的研究已经开展。

(二) 成型方法的革新

由于塑料工业不断发展,在各个工业部门应用的塑料品种越来越多,对于一些新型或有特殊要求的塑料制品,旧的成型方法已经不再适用。因此,近年来出现了许多新型的塑料制品成型方法,单就注射成型来讲就有了无流道凝料赘物的注射成型、热固性塑料注射成型、低发泡注射成型、排气注射成型、反应注射成型、增强反应注射成型、流动注射成型、动力注射成型熔融注射成型以及多品种的共注射成型等等。

(三) 塑料制件的精密化、微型化和超大型化

由于塑料制品在各个工业部门中的应用日益普遍,因此为了满足各种工业产品的使用要求,塑料成型技术正朝着精密化、微型化和超大型化等方面发展,下面以注射成型为例说明。

所谓精密注射成型,是指能将塑料制件尺寸公差控制在 $0.01 \sim 0.001 \text{ mm}$ 之内的成型工艺方法,其制品主要用于电子、仪表工业。

注射成型微型化实际上是指注塑制品微型化。例如,德国已研制出注射量只有 0.1 g 的微型注射机,可以生产 0.05 g 左右的微型注射制品;我国已有 0.5 g 的微型注射机,可生产 0.1 g 左右的微型注射制品(如手表轴等)。

注射成型超大型化实际上也是注塑制品的超大型化。在国外,法国已拥有 17 kg 的超大型注射机,合模力为 150 MN ;美国和日本也已经分别生产出注射量为 10 kg 和 9.6 kg 的超大型注射机;我国注射机的注射量已达 3.5 kg ,合模力为 80 MN 。

(四) 模具技术进步

模具是塑料成型生产必需的工艺装备。过去的模具设计主要依靠技术人员的经验,而模具的加工制造又在很大程度上依赖于工人的操作技能,因此模具设计水平低、加工质量差、生产周期长、使用寿命短,新产品更新换代以及正常的成型生产经常会因为模具问题而受到干扰。随着塑料成型技术的不断发展,模具的重要性日益被人们所认识,甚至有人提出“没有模具便没有产品”的信条。鉴于此,近年来,国内外塑料成型加工行业都在改进和提高模具制造技术方面投入了大量资金和研究力量。经过不懈努力,已经取得许多成果,归纳起来有以下几个方面:

1. 模具加工技术的革新

为了提高模具的加工精度,缩短模具的加工制造周期,模具行业已经广泛应用仿形加工、电加工、数控加工等先进技术,并使用坐标镗、坐标磨、三坐标测量仪等精密加工与测量设备。

2. 新材料的研制与应用

模具材料的选用在模具的设计与制造中是一个较重要的问题,它将直接影响模具的加

工成本、使用寿命以及塑料制品的成型质量等。为了解决这一问题,国内外都已经对模具的工作条件、失效形式和提高使用寿命的途径进行了大量研究,开发出许多使用性能良好、加工性好、热处理变形小的新型塑料模具钢,如预硬钢、新型淬火回火钢、马氏体时效钢、析出硬化钢、耐蚀钢等等,经过应用,均取得了较好的技术和经济效果。

3. 应用 CAD/CAM/CAE 技术和模具表面强化处理技术

CAD, CAE, CAM 分别是塑料模具计算机辅助设计 (Computer Aided Design)、模拟分析 (Computer Aided Engineering) 和辅助制造 (Computer Aided Manufacturing) 的缩写。CAD 是人和计算机相结合,各尽所长的智能化与集成化设计方法。CAM 是利用 CAD 产生的几何模型,自动形成 NC 加工机床所需的信息,即 NC 加工程序。CAE 是产品设计人员进行创造性思维活动的有力工具,它在设计过程中主要起模拟分析作用,如塑料注射模在注射过程中模腔内塑料熔体流动的模拟分析和模具可制造性评价等。

开发和应用 CAD/CAM/CAE 新技术,是提高模具设计质量和效率,提高制造精度和缩短制造周期的有效措施和发展方向。

模具表面强化处理新技术的应用。近年来,模具表面性能强化技术又有了新的发展并引起了重视。其中,化学气相沉积 (CVD),物理气相沉积 (PVD) 及盐浴渗金属 (TD) 的方法是几种发展较快、应用最广的表面涂覆硬化处理的新技术。这些技术对于提高模具的寿命、加工效率和减少模具昂贵材料的消耗有着十分重要的意义。

4. 模具零件的标准化、专业化

模具加工是典型的单件多品种生产方式,因此,模具零部件的标准化以及将模具零部件进行专业化生产是缩短模具加工周期、降低模具成本的重要方法之一。据国外统计,对模具进行专业化生产之后,可使模具生产成本降低 50%,因此各个工业化国家都对模具零部件的标准化和专业化生产非常重视,目前,美国和日本的标准程度已达 70%,专业化生产程度分别为 90%,74%。国内情况比较落后,模具标准程度只有 20% 左右,专业化生产起步不太久,但有关部门正在加强这方面的工作。

(五) 自动化成型生产

自动化成型生产是随着塑料制品大批量生产而出现的。目前主要用于注射成型、挤出成型和压延成型生产中。塑料制品实现自动化生产以后,对成型设备可以进行远距离操作或无人操作,成型设备还可以根据生产监测信号,实时地调整成型工艺条件,从而能从根本上保证塑料制品的成型质量不发生问题。对塑料制品实行自动化生产主要是为了提高生产效率、降低劳动强度、改善生产环境。为了实现这些目标,必须积极开发各种自控成型设备和自动化模具,目前在成型设备方面取得的成果较多,但对于自动化模具的研制还需要进一步努力。

除了上述几方面以外,塑料工业还在成型物料的改善方面做了很多工作。例如,注射成型生产过去主要使用粒状物料,但随着注射成型水平的提高和注射机的改进,目前已开始应用粉状物料。再如,对于热固性塑料,过去主要利用粉状物料压缩成型,但现在不仅有可供注射成型使用的粉状、粒状、块状和团状物料,而且还出现了可供模压成型的板、片状物料。

五、本课程的学习目的与要求

《塑料成型工艺与模具设计》是一门综合性、实践性较强的课程。学习完本课程以后，学生要了解塑料的工艺特性与成型机理，掌握各种成型模具的结构特点及设计计算方法，在全面掌握塑料的特性与成型工艺性能、成型特点、模具零件的加工工艺性、标准件的选用等的基础上，能够独立设计中等复杂塑料模具。

塑件设计方面，能在正确分析塑件工艺性的基础上，配合使用单位或美工设计人员，根据塑料成型特点进行一般塑料制件工艺设计。

《塑料成型工艺与模具设计》课程实践性强，这就要求：不断地理论联系实际，多向生产现场有经验的工程技术人员和工人师傅学习，丰富课程内容。我们在学习本课程时，还要注意学习国内外的新技术、新工艺、新经验，为使我国塑料成型加工技术赶超世界先进水平作出贡献。

思考题 (一)



思考题

- 1-1 为什么模具工业在国民经济中的地位非常重要？
- 1-2 塑料模具的发展动向有哪些？

第二章

塑料及其常用成型方式

第一节 塑料概论

一、塑料的概念

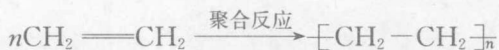
(一) 树脂的概念

树脂是指受热时通常有转化或熔融范围,转化时受外力作用具有流动性,常温下呈固态或半固态或液态的有机聚合物。它是塑料最基本的,也是最重要的成分。

根据获得的方法不同,树脂有天然树脂和合成树脂之分。天然树脂是指由自然界中动植物分泌物所得的无定形有机物质,是一种胶状物,如松香、琥珀、虫胶等,具有可塑性。

塑料的原料,一般用的都是合成树脂,因为天然树脂的性能不是很好,容易老化、变脆,产量也比较小,因此生产厂家大都用合成树脂来制造塑料。

合成树脂是由一种或几种简单化合物(也叫单体)通过聚合反应(缩聚反应或加聚反应)而生成的一种高分子化合物,也叫高聚物,如聚乙烯、聚氯乙烯、酚醛树脂。高聚物中高分子的原子不是任意排列的,而是某个结构单元有规则重复排列而成的,这种结构单元叫链节。如聚乙烯:



聚乙烯的链节是 $[\text{CH}_2-\text{CH}_2]$,链节的重复数 n 称为聚合度。值得注意的是,聚合物和塑料是不同的,实质上它们之间有很大的区别。聚合物是指聚合反应过程生成的纯材料,一般不单独使用,只有在加入添加剂后在工业中才有使用价值;而塑料是聚合物加入各种添加剂后的聚合材料。

塑料的主要成分是树脂,树脂的结构特点直接决定了塑料的性质,因此分析塑料的结构实质上也就是分析树脂(聚合物)的结构。高聚物的分子结构有如下特点:

(1) 它是长链分子。有机高分子化合物是通过聚合反应得到的,因此它具有很长很长的分子链,它们通过共价链连成不同的结构——线型的、支链型的、星型的、梳型的、梯型的和网状的,如图 2-1 所示。

(2) 高分子长链具有柔顺性。高分子链能够改变其构向的性质称为柔顺性,这是高聚物许多性能不同于低分子物质的主要原因。主链结构对聚合物的柔顺性有显著的影响。例如,由于 $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ 键角大, $\text{Si}-\text{O}$ 的键长大,内旋转比较容易,因此聚二甲基硅氧烷的柔性非常好,是一种很好的合成橡胶。芳杂环因不能内旋转,所以主链中含有芳杂环结构的高分子链的柔顺性较差,具有耐高温的特点。侧基极性的强弱对高分子链的柔顺性影响很大。侧基的极性愈弱,其相互间的作用力愈大,单键的内旋转困难,因而链的柔顺性

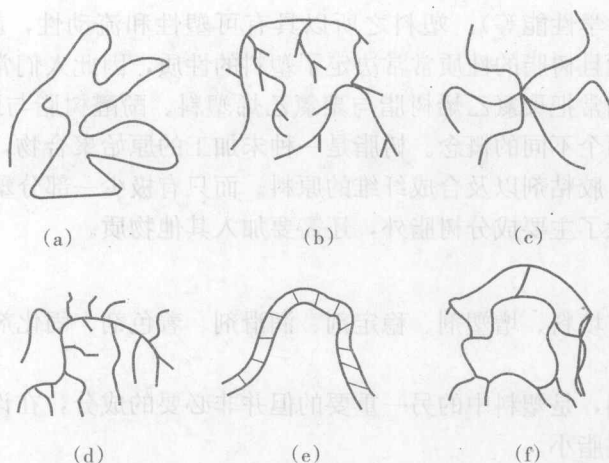


图 2-1 高分子链骨架形状示意图

- (a) 线型高分子；(b) 支链高分子；(c) 星型高分子；
(d) 梳型高分子；(e) 梯型高分子；(f) 网状高分子。

差。链的长短对柔顺性也有影响，若链很短，内旋转的单链数目很少，分子的构向数很少，必然出现刚性。

(3) 高分子链间一旦存在有交联结构，即使交联度很小，高聚物的物理力学性能也能发生很大的变化，主要是不溶与不熔。

(4) 由于高分子有很多结构单元，因此结构单元之间的范德华相互作用就显得特别重要，对高聚物的聚集态结构及高聚物材料的物理力学性能有重要的影响。

(5) 高聚物存在晶态和非晶态两种聚集态。聚集态结构是指高聚物分子链之间的几何排列和堆砌结构，包括晶态结构、非晶态结构、取向态结构以及织态结构。结构规整或链间次价力较强的聚合物容易结晶，例如，高密度聚乙烯、全同聚丙烯和聚酰胺等。结晶聚合物中往往存在一定的无定形区，即使是结晶度很高的聚合物也存在晶体缺陷，熔融温度是结晶聚合物使用的上限温度。结构不规整或链间次价力较弱的聚合物（如聚氯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯等）难以结晶，一般为不定形态。

(6) 高聚物长分子链具有取向性。大分子结构在某些外场（如拉伸应力或剪切应力）作用下，可以沿着外场方向有序排列，这种有序的平行排列称为取向。

(二) 塑料的概念

塑料——以树脂（或在加工过程中用单体直接聚合）为主要成分，以增塑剂、填充剂、润滑剂、着色剂等添加剂为辅助成分，在一定温度和压力的作用下能流动成型的高分子有机材料。

二、塑料的成分及特点

(一) 树脂

一般采用合成树脂作为塑料的主要成分，其在塑料中的含量一般在 40%~100%。它联系或胶粘着塑料中的其他一切组成部分，并决定塑料的类型和性能（如热塑性或热固

性,物理、化学及力学性能等)。塑料之所以具有可塑性和流动性,就是树脂所赋予的。由于树脂含量大,而且树脂的性质常常决定了塑料的性质,因此人们常把树脂看成塑料的同义词。例如,人们常把聚氯乙烯树脂与聚氯乙烯塑料、酚醛树脂与酚醛塑料混为一谈。其实树脂与塑料是两个不同的概念。树脂是一种未加工的原始聚合物,它不仅用于制造塑料,而且还是涂料、胶粘剂以及合成纤维的原料。而只有极少一部分塑料含100%的树脂,绝大多数的塑料,除了主要成分树脂外,还需要加入其他物质。

(二) 添加剂

常用的添加剂有填料、增塑剂、稳定剂、润滑剂、着色剂、固化剂等。

1. 填料

填料又称填充剂,是塑料中的另一重要的但并非必要的成分,在许多情况下,填充剂所起的作用并不比树脂小。

塑料中加入填充剂后,不仅能使塑料的成本降低,而且还能使塑料的性能得到显著改善,对塑料的推广和应用起了促进作用。如:酚醛树脂中加入木粉后,既克服了它的脆性,又降低了成本。聚酰胺、聚甲醛等树脂中加入二硫化钼、石墨、聚四氟乙烯后,使塑料的耐磨性、抗水性、耐热性、硬度及机械强度等得到全面改进。用玻璃纤维作为塑料的填充剂,能使塑料的机械强度大幅度提高。有的填充剂还可以使塑料具有树脂所没有的性能,如导电性、导磁性、导热性等等。

填充剂按其化学性能可分为无机填料和有机填料;按其形状可分为粉状的、纤维状的和层(片)状的。粉状填料有木粉、纸浆、硅藻土、大理石粉、滑石粉、云母粉、石棉粉、高岭土、石墨、金属粉等;纤维状填料有棉花、亚麻、石棉纤维、玻璃纤维、碳纤维、硼纤维、金属须等;层状填料有纸张、棉布、石棉布、玻璃布、木片等。

2. 增塑剂

增塑剂是为改善塑料的性能和提高柔软性而加入塑料中的一种低挥发性物质。常用的有邻苯二甲酸酯类、癸二酸酯类、磷酸酯类、氯化石蜡等。树脂中加入增塑剂后,加大了其分子间的距离,因而削弱了大分子间的作用力,这样便使树脂分子容易滑移,从而使塑料能在较低的温度下具有良好的可塑性和柔软性。如:聚氯乙烯树脂中加入邻苯二甲酸二丁酯,可变为像橡胶一样的软塑料。

加入增塑剂固然可以使塑料的工艺性能和使用性能得到改善,但也降低了树脂的某些性能,如硬度、抗拉强度等。

3. 稳定剂

稳定剂是指可以提高树脂在热、光、氧和霉菌等外界因素作用时的稳定性,减缓塑料变质的物质。许多树脂在成型加工和使用过程中由于受上述因素的作用,性能会变坏。加入少量(一般是千分之几)稳定剂可以减缓这种情况的发生。

稳定剂除对聚合物的稳定效果好外,还应能耐水、耐油、耐化学品,并与树脂相溶,在成型过程中不分解、挥发小、无色。常用的稳定剂有硬脂酸盐、铅的化合物及环氧化合物等,如二盐基性亚磷酸铅、三盐基性硫酸铅、硬脂酸钡等。稳定剂可分为热稳定剂、光稳定剂等。

4. 润滑剂

润滑剂是为改进塑料熔体的流动性,减少或避免对模具的摩擦和粘附,以及降低塑件

表面粗糙度等而加入的添加剂。常用的润滑剂有硬脂酸及其盐类。

5. 着色剂

在塑料中有时可以用有机颜料、无机颜料和染料使塑料制件具有各种色彩，以适合使用上的美观要求。有些着色剂兼有其他作用，如本色聚甲醛塑料用炭黑着色后能在一定程度上有助于防止光老化；聚氯乙烯用二盐基性亚磷酸铅等颜料着色后，可避免紫外线的射入，对树脂起到屏蔽作用。因此，着色剂还可以提高塑料的稳定性。

6. 固化剂

固化剂又称硬化剂，它的作用在于通过交联使树脂具有体型网状结构，成为较坚硬和稳定的塑料制件。例如，在酚醛树脂中加入六次甲基四胺，在环氧树脂中加入乙二胺、顺丁烯二酸酐等。

7. 其他添加剂

塑料的添加剂除上述几种外，还有发泡剂、阻燃剂、防静电剂、导电剂和导磁剂等。比如，为了使塑料制品如塑料地板、塑料地毯抗静电，则加入抗静电剂，以提高表面导电度，使带电塑料迅速放电。

需要注意的是，并非每一种塑料都要加入全部添加剂，要根据塑料品种和使用要求加入所需的某些添加剂。

(二) 塑料的特点

1. 质量轻

塑料的密度一般在 $0.9 \sim 2.3 \text{ g/cm}^3$ 范围内，约为铝的 $1/2$ ，铜的 $1/6$ 。

2. 比强度和比刚度高

塑料的强度和刚度虽然不如金属好，但塑料的密度小，所以其比强度（强度与密度之比）和比刚度（刚度与密度之比）相当高。如玻璃纤维增强塑料和碳纤维增强塑料的比强度和比刚度比钢材好。

3. 化学稳定性好

塑料对酸、碱等化学物质具有良好的抗腐蚀能力，因此，在化工设备以及日用和工业品中得到广泛应用。比如聚四氟乙烯具有极高的耐腐蚀性，任何强酸、强碱、强氧化剂对它都不起作用，素有“塑料王”之称，被广泛用来制造化工管道及容器。

4. 绝缘性能好

塑料对电、热、声都有良好的绝缘性能，被广泛地用来制造电绝缘材料、绝缘保温材料以及隔音吸音材料。塑料的优越电气绝缘性能和极低的介电损耗性能，可以与陶瓷和橡胶媲美。除用做绝缘材料的塑料外，现又制造出半导体塑料、导电导磁塑料等，它们对电子工业的发展具有独特的意义。

5. 耐磨和减磨性能好

塑料的摩擦系数小，耐磨性强，可以作为减磨材料，如用来制造轴承、齿轮等零件。

6. 光学性能好

塑料的折射率较高，并且具有很好的光泽。不加填充剂的塑料大都可以制成透光性良好的制品，如有机玻璃、聚苯乙烯、聚碳酸酯等都可以制成晶莹剔透的制品。目前，这些塑料已广泛地用来制造玻璃窗、罩壳、透明薄膜以及光导纤维材料。

7. 加工性能好, 经济效益显著

塑料具有容易成型、成型周期短的特性。将塑料做成零件, 所需专用设备投资少, 能耗低。特别是与金属制件加工相比, 加工工序少, 成型周期短, 加工过程中的边角废料多数可回收利用。如果以单位体积计算, 生产塑料制件的费用仅为有色金属的 $1/10$, 因此塑料制件的总体经济效益显著。

应该指出的是, 塑料也存在一些缺点, 在应用中受到一定的限制。一般塑料的刚性差, 如尼龙的弹性模量约为钢铁的 $1/100$ 。塑料的耐热性差, 在长时间工作的条件下一般使用温度在 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下, 而且在低温下易开裂。塑料的导热系数只有金属的 $(1/200) \sim (1/600)$, 这对散热而言是一个缺点。若长期受载荷作用, 即使温度不高, 塑料也会渐渐产生塑性流动, 即产生“蠕变”现象。塑料易燃烧, 在光和热作用下性能容易变坏, 发生老化现象。所以, 在选择塑料时要注意扬长避短。

三、塑料的分类

按塑料中合成树脂的分子结构及热性能的不同, 可分为热固性塑料和热塑性塑料。

(一) 热固性塑料

其分子结构是体型的, 在初受热时变软, 可以制成一定的形状, 但加热到一定时间或加入固化剂后, 就硬化定型, 再加热则既不熔融也不溶解, 形成体形(网状)结构, 在加热和冷却过程, 既有物理变化又有化学变化。热固性塑料制品一旦损坏不能回收再利用。

1. 酚醛塑料(PF)

以酚类化合物和醛类化合物缩聚而成酚醛树脂, 再以该树脂为基础制得的塑料就是酚醛塑料。酚醛本身很脆, 呈琥珀玻璃态, 必须加入各种纤维或粉末状填料后才能获得具有一定性能要求的酚醛塑料。酚醛塑料大致可分为三类: 层压塑料; 纤维状压塑料; 碎屑状压塑料。酚醛塑料与一般热塑性塑料相比, 刚性好, 变形小, 耐热耐磨, 能在 $150\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的范围内长期使用; 在水润滑条件下, 有极低的摩擦系数; 电绝缘性能优良。缺点是质脆, 冲击强度差。

酚醛塑料主要用途: 酚醛层压塑料用浸渍过酚醛树脂溶液的片状填料制成, 可制成各种型材和板材。根据所用填料不同, 有纸质、布质、木质、石棉和玻璃布等各种层压塑料。布质及玻璃布酚醛层压塑料具有优良的力学性能、耐油性能和一定的介电性能, 用于制造齿轮、轴瓦、导向轮、轴承及电工结构材料和电气绝缘材料; 木质层压塑料适用于做水润滑冷却下的轴承及齿轮等; 石棉布层压塑料主要用于高温下工作的零件。酚醛纤维状压塑料可以加热模压成各种复杂的机械零件和电器零件, 具有优良的电气绝缘性能, 耐热、耐水、耐磨, 可制成各种线圈架、接线板、电动工具外壳、风扇叶子、耐酸泵叶轮、齿轮、凸轮等。

酚醛塑料成型特点: 成型性能好, 特别适用于压缩成型; 模温对流动性影响较大, 一般当温度超过 $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 流动性迅速下降; 硬化时放出大量热, 厚壁大型塑件内部温度易过高, 发生硬化不匀及过热现象。

2. 氨基塑料

是由氨基化合物与醛类(主要是甲醛)经缩聚而得的塑料, 主要包括脲一甲醛(UF)、三聚氰胺一甲醛(MF)等。