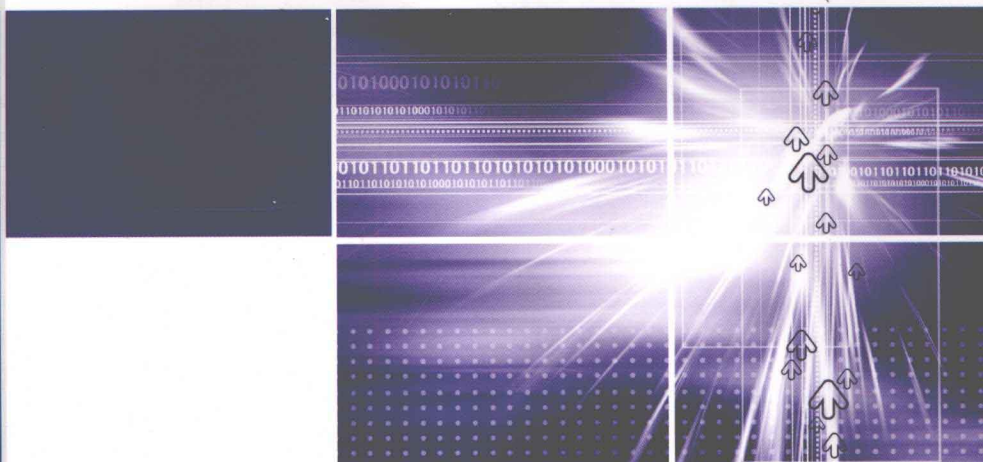


普通高等教育“十二五”规划教材



塑料成型工艺与 模具设计

第2版

齐晓杰 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

塑料成型工艺与 模具设计

第2版

主 编 齐晓杰
副主编 陈绮丽 余五新 毕凤阳
参 编 张 旭 俞芙芳 段宏伟
任照坤
主 审 郭铁良



机械工业出版社

本书系统地介绍了塑料成型工艺的基本理论和工艺知识,紧密结合模具技术的新发展,阐述了模具设计的理论、方法和技巧。为加强对读者解决工程实际问题的能力培养,书中还提供了一定的设计实例、图例。全书共分九章,包括绪论、塑料成型技术基础、塑料成型工艺及成型制品结构工艺性、注射模设计、注射模计算机辅助设计、压缩模与传递模设计、挤出模设计、中空吹塑和热成型工艺与模具设计、泡沫塑料成型工艺及模具设计等。

本书为普通高等学校(应用型本科人才培养类)材料成形及控制工程专业的规划教材,并可作为高职高专模具设计与制造专业教材使用,亦可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

塑料成型工艺与模具设计/齐晓杰主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2012.5

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-37517-3

I. ①塑… II. ①齐… III. ①塑料成型-工艺-高等学校-教材
②塑料模具-设计-高等学校-教材 IV. ①TQ320.66

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第027402号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:冯春生 责任编辑:冯春生 程足芬

版式设计:刘 岚 责任校对:刘志文

封面设计:张 静 责任印制:李 妍

中国农业出版社印刷厂印刷

2012年5月第2版第1次印刷

184mm×260mm·20印张·496千字

标准书号:ISBN 978-7-111-37517-3

定价:38.00元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

普通高等教育“十二五”规划教材 编审委员会

主任委员 李荣德 沈阳工业大学

副主任委员(按姓氏笔画排序)

方洪渊 哈尔滨工业大学

朱世根 东华大学

邢建东 西安交通大学

李永堂 太原科技大学

聂绍珉 燕山大学

王智平 兰州理工大学

许并社 太原理工大学

李大勇 哈尔滨理工大学

周 荣 昆明理工大学

葛继平 大连交通大学

委员(按姓氏笔画排序)

丁雨田 兰州理工大学

王卫卫 哈尔滨工业大学(威海)

邓子玉 沈阳理工大学

刘金合 西北工业大学

毕大森 天津理工大学

闫久春 哈尔滨工业大学

张建勋 西安交通大学

李 桓 天津大学

李亚江 山东大学

周文龙 大连理工大学

侯英玮 大连交通大学

赵 军 燕山大学

黄 放 贵州大学

薛克敏 合肥工业大学

文九巴 河南科技大学

计伟志 上海工程技术大学

刘永长 天津大学

华 林 武汉理工大学

许映秋 东南大学

何国球 同济大学

李 尧 江汉大学

李 强 福州大学

邹家生 江苏科技大学

武晓雷 中国科学院

姜启川 吉林大学

梁 伟 太原理工大学

蒋百灵 西安理工大学

戴 虹 西南交通大学

秘书长 袁晓光 沈阳工业大学

秘 书 冯春生 机械工业出版社

应用型本科材料成形及控制工程专业 教材编委会

主任委员 葛继平 大连交通大学

副主任委员(按姓氏笔画排序)

王卫卫 哈尔滨工业大学(威海)

王高潮 南昌航空大学

邓子玉 沈阳理工大学

毕大森 天津理工大学

李 尧 江汉大学

委员(按姓氏笔画排序)

马 超 天津大学仁爱学院

王章忠 南京工程学院

邓 明 重庆理工大学

付建军 北华航天工业学院

冯小明 陕西理工学院

史立新 南京农业大学

刘厚才 湖南科技大学

毕凤阳 黑龙江工程学院

张 旭 湖南工程学院

张厚安 厦门理工学院

张德勤 九江学院

李慕勤 佳木斯大学

范有发 福建工程学院

胡成武 湖南工业大学

徐纪平 上海工程技术大学

曾大新 湖北汽车工业学院

秘书长 侯英玮 大连交通大学

秘 书 冯春生 机械工业出版社

第2版前言

本书第1版是根据2003年1月全国材料成形及控制工程专业（模具设计与制造方向）应用型本科人才培养教材编写研讨会议制订的出版计划编写的，自出版以来，已先后印刷9次，受到广大读者的欢迎。在2010年11月中国机械工业教育协会应用型本科材料成形及控制学科教学分委员会会议制订了对本书第1版修订的计划。本版是由原参编人员广东工业大学陈绮丽、江汉大学余五新、哈尔滨理工大学段宏伟、福建工程学院俞芙芳、北华航天工业学院任照坤，在各自编写章节第1版的基础上，适应发展、总结提高、修改增删而成的。同时，为便于巩固所学的知识，在每章后增加了思考题。在此基础上黑龙江工程学院齐晓杰、毕凤阳着重做了以下两方面工作：①结合中国模具工业协会编制的“模具行业‘十二五’发展规划”的发展目标，及其对塑料模具类技术人员新的要求，增加了新技术内容；②为适应模具标准化的发展，对第1版中过时的标准进行全面修订，增加了大量新内容，使其成为与模具标准化进程与时俱进的塑料模具设计类教材。

本书第1版使用期间，全国有关兄弟院校的同行提出了很多宝贵的意见和建议，在此表示由衷的感谢。

本版内容虽有所改进，但难免有不当和错误之处，恳请读者予以批评指正。

编 者

第 1 版前言

随着现代制造技术的迅速发展、计算机技术的应用，在工业生产中模具已成为生产各种工业产品不可缺少的重要工艺装备。特别是在塑料产品的生产过程中，塑料模具的应用极其广泛，在各类模具中的地位也越来越突出，成为各类模具设计、制造与研究中最具有代表意义的模具之一。因此，“塑料成型工艺与模具设计”课程，已成为材料成形及控制工程专业（模具设计与制造方向）的主干专业课程。同时，各有关高校普遍重视该课程的教学改革和教材建设。本书是根据 2003 年 1 月全国材料成形及控制工程专业（模具设计与制造方向）应用型本科人才培养教材编写研讨会议制订的出版计划编写的，全书系统地介绍了塑料成型工艺的基本理论和工艺知识，紧密结合模具技术的新发展，阐述了模具设计的理论、方法和技术。本书可满足普通高等学校材料成形及控制工程本科专业教学需要，并可作为高职高专模具设计与制造专业教材使用，亦可供有关工程技术人员使用参考。

本书共分九章。第一、二章由黑龙江工程学院齐晓杰编写；第三、五章由湖南工程学院张旭、黑龙江工程学院毕凤阳共同编写；第四章由江汉大学余五新、广东工业大学陈绮丽共同编写；第六章由福建工程学院俞芙芳编写；第七章由北华航天工业学院任照坤编写；第八、九章由哈尔滨理工大学段宏伟编写。全书由齐晓杰任主编，陈绮丽、张旭、余五新任副主编，北华航天工业学院郭铁良教授任主审。目录中章前带*号为选修内容。

由于编者理论水平和经验有限，书中难免有不当和错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第2版前言	
第1版前言	
第一章 绪论	1
第一节 模具及模具工业发展趋势	1
第二节 塑料成型及模具技术发展趋势	2
第三节 学习本课程的要求	5
思考题	6
第二章 塑料成型技术基础	7
第一节 塑料的组成和特性	7
第二节 塑料的分类与应用	11
第三节 塑料成型的工艺性能	17
第四节 塑料成型流变学基础	24
思考题	33
第三章 塑料成型工艺及成型制品结构工艺性	34
第一节 注射成型原理及工艺	34
第二节 压缩成型与传递成型原理及工艺	52
第三节 挤出成型原理及工艺	61
第四节 塑料成型制品结构工艺性	65
思考题	86
第四章 注射模设计	87
第一节 注射模分类及典型结构	87
第二节 塑料制品在模具中的位置	90
第三节 浇注系统设计	97
第四节 成型零部件设计	121
第五节 导向与定位机构设计	136
第六节 脱模机构设计	140
第七节 侧向分型与抽芯机构设计	158
第八节 温度调节系统设计	176
第九节 热固性塑料注射模设计	186
第十节 注射模的标准化	190
第十一节 注射模设计程序及设计实例	197
思考题	208
*第五章 注射模计算机辅助设计	211
第一节 注射模计算机辅助设计概述	211
第二节 注射模 CAD 技术	214
第三节 注射模 CAE 技术	216
第六章 压缩模与传递模设计	224
第一节 概 述	224
第二节 压缩模成型零部件及有关机构设计	231
第三节 传递模设计	244
第四节 压缩模与传递模设计实例	250
思考题	253
第七章 挤出模设计	254
第一节 概 述	254
第二节 管材与棒材挤出模具设计	258
第三节 平缝形挤出模设计	267
第四节 异型材挤出模设计	270



第五节 吹塑薄膜挤出模具设计	277	设计	296
第六节 电线电缆挤出模具设计	278	第二节 结构泡沫塑件成型及模具	
思考题	280	设计	299
第八章 中空吹塑和热成型工艺与模具		思考题	303
设计	281	附录	304
第一节 中空吹塑成型工艺与模具		附录 A 塑料及树脂缩写代号	
设计	281	(GB/T 1844—2008)	304
第二节 热成型工艺及制品结构工		附录 B 热塑性塑料的某些性能	306
艺性	289	附录 C 常用塑料的连续耐热温度和	
第三节 热成型模具设计	293	热变形温度	307
思考题	295	附录 D 注射塑件成型缺陷分析	307
* 第九章 泡沫塑料成型工艺及模具		附录 E 压缩塑件成型缺陷分析	309
设计	296	参考文献	312
第一节 泡沫塑料压缩成型及模具			

第一章 绪 论

第一节 模具及模具工业发展趋势

一、模具工业在国民经济（制造业）中的作用与地位及行业现状

模具是工业生产中极其重要而又不可或缺的特殊基础工艺装备，其生产过程集精密制造、计算机技术、智能控制和绿色制造为一体，既是高新技术载体，又是高新技术产品。由于使用模具批量生产制件具有的高生产效率、高一致性、低耗能耗材，以及有较高的精度和复杂程度，因此已越来越被国民经济各工业生产部门所重视，被广泛应用于机械、电子、汽车、信息、航空、航天、轻工、军工、交通、建材、医疗、生物、能源等制造领域，在我国经济发展、国防现代化和高端技术服务中起到了十分重要的支撑作用，也为我国经济运行中的节能降耗做出了重要贡献。模具工业是重要的基础工业。工业要发展，模具须先行。没有高水平的模具就没有高水平的工业产品。模具工业水平已经成为衡量一个国家制造业水平高低的重要标志，也是一个国家的工业产品保持国际竞争力的重要保证之一。

随着时代的进步和科技的发展，过去长期依赖钳工、以钳工为核心的粗放型作坊式的生产管理模式，已经被以技术为依托、以设计为中心的集约型现代化生产管理模式所替代；模具产品的传统概念也正被模具是高新技术产品的概念所替代。

目前全国共有模具生产企业（厂、点）约3万个，从业人员近100万人，2009年模具销售额约980亿元，2010年我国模具总产值约为1120亿元，其中塑料模约占30%。根据2008年我国工业普查资料，模具制造行业主营收入500万元以上的企业在全国共有2813个，从业人员为41.22万人，工业总产值为1178.35亿元，资产总计为1206.34亿元，利税总额为133.90亿元。根据海关统计，2009年我国共进口模具19.64亿美元，出口18.43亿美元。出口模具约占模具总销售额的12.8%。

从模具供需情况看，中低档模具已经能够国产化，以大型、精密、复杂、长寿命模具为主要代表的高技术含量模具国产化率目前只有60%左右，有很大一部分依靠进口。目前模具总销售额中塑料模具所占比例最大，约占45%；冲压模具约占37%；铸造模具约占9%；其他各类模具共计约9%。

技术的进步促使模具产品水平近年来也有了很大提高，向高端发展趋向较为明显。在塑料模具方面，一些模具产品已达世界先进水平，其中具有代表性的如单套模具重量达到120t的巨型塑料模具，塑料制件精度达到0.008mm、模具加工精度达到0.002mm的超精模具，使用寿命达到3000万次以上的长寿命模具，实现多料和多工序成型的多功能复合模具等。



当然,能生产高水平模具的企业在行业中还只占少数,综合来看,我国模具行业总体水平发展还有较大空间。

二、我国模具工业的发展趋势

随着我国先进制造业的发展和制造业的国际化,我国模具行业正在由替代进口转向出口,技术水平快速与国际接轨,具体表现在:

1) 模具整体水平继续向大型、精密、复合方向发展。近几年,模具中高端市场由替代进口转向开始出口,向发达国家市场拓展。国内模具技术发展迅速,大型精密模具水平节节攀升,大型模具、精密模具、大型汽车结构件冲压级进模、先进新型复合模具以及复杂多功能模具等纷纷涌现,引领着国内模具技术飞速发展。

2) 创新依然是我国模具企业提高核心竞争力的关键。模具技术的特点使创新能力成为模具企业生存的关键,近年来出现的大量新结构、新方法、新工艺以及新技术已经成为我国模具技术发展的新动力,许多新结构、新方法、新工艺以及新技术处于国际领先水平,必将形成我国模具技术新的核心竞争力。

3) 模具信息化技术不断突破。继模具生产过程中的温度控制、熔接痕控制、流量控制、冷却过程控制等模具信息化控制技术应用后,塑料模成型过程在线控制、压铸模成型过程在线控制、冲模成形过程在线控制等一大批成形过程在线控制模具也相继出现。这种模具成形过程的在线智能化控制将成为我国乃至世界模具发展的方向之一。

4) 模具企业由制造型开始向制造服务型转变。随着市场需求的变化以及竞争的加剧,模具企业单纯的模具设计制造模式已经不能满足市场竞争的需要,部分企业已经开始主动配合产品生产企业工作,参与产品生产企业的研发、设计和生产服务,提供全过程的模具、工装甚至产品服务,使模具企业由制造企业向制造服务型企业转变。

5) 模具产业集群优势凸显。经过多年的发展,模具产业的集群效应已经显现出来,以昆山模具城为代表的模具产业集群,无论从企业规模还是技术水平都显现出模具产业集群的成效,说明模具产业集群是一条模具发展的有效途径。

第二节 塑料成型及模具技术发展趋势

一、塑料及塑料成型技术的发展

塑料成型制品是以塑料为主要结构材料经成型加工获得的制品,又称塑料制件,简称塑件。塑料成型制品应用广泛,特别是在电子仪表、电器设备、通信工具、生活用品等方面获得大量应用。如各种受力不大的壳体、支架、机座、结构件、连接件、传动件、装饰件等;建筑用各种塑料管材、板材和门窗异型材;塑料中空容器和各种生活用塑料制品等。

塑料是20世纪发展起来的新兴材料,由于应用广泛,已替代部分金属、木材、皮革及硅酸盐等自然材料,成为现代工业和生活中不可缺少的一种人造化学合成材料。并与金属、木材和硅酸盐三种传统材料一起,成为现代工业生产中四种重要的原材料之一。

塑料制件的主要加工方法是塑料成型加工。塑料成型是将各种形态的塑料原料(粉状、



粒状、熔体或分散体) 熔融塑化或加热达到要求的塑性状态, 在一定压力下经过要求形状模具(如挤出口模)或充填到要求形状模具型腔内, 待冷却定型后, 获得要求形状、尺寸及性能塑料制件的生产过程。塑料成型适宜生产形状复杂的薄壳体件, 截面形状一定的线材; 也可生产具有一定形状的结构件、连接件和传动件等。其特点是生产制品形状尺寸稳定, 可实现连续生产, 一模多件生产, 生产效率高。

常用塑料成型工艺有注射成型、压缩成型、传递成型、挤出成型、中空吹塑成型、真空吸塑与气压成型等。塑料制件成型后, 可直接使用或与其他件装配组合后使用; 亦可通过机械加工、修饰等后处理工艺提高其使用性能和品质。

随着现代工业的发展、新型塑料的产生和对塑料制件多样化的需求, 促进了塑料成型技术的不断发展与创新。近年来, 出现了许多新的塑料成型工艺方法。如注射成型技术方面的无流道凝料注射成型、热固性塑料注射成型、排气注射成型、反应注射成型以及多品种塑料的共注射成型; 生产复合多层容器、片材和型材的多台挤出机, 将不同塑料送入共挤出模的共挤出成型; 发泡塑料制品的注射和挤出成型技术等。

目前, 塑料成型技术正朝着精密化、微型化和超大型化方向发展。精密注射成型可将成型制品的尺寸公差控制在 $10 \sim 1\mu\text{m}$ 之内, 其制品主要用于电子、仪器仪表等工业。在成型微型制件方面, 德国已研制出了注射量只有 0.1g 的微型注射机, 可以生产 0.05g 左右的微型塑料制件(如手表轴等)。超大型注射机的使用可以成型超大型塑料制件, 目前, 法国已拥有注射量为 170kg 的超大型注射机, 锁模力为 150MN ; 美国和日本已分别生产出注射量为 100kg 和 96kg 的超大型注射机。我国的海天集团作为世界销售量最大的注射机生产企业已能够生产注射量达 80kg 、锁模力为 80MN 的超大型注射机。

二、塑料模具技术发展趋势

塑料模具的结构、性能、质量影响着塑料制件的质量和成本。首先, 模具型腔的形状、尺寸、表面粗糙度、分型面、内浇口、排气槽位置以及脱模方式等, 对塑件的尺寸精度、形状精度以及塑件的物理性能、力学性能、电性能、内应力大小、各向同性性、外观质量、表面粗糙度、气泡、凹痕、烧焦、银纹等有着十分重要的影响。其次, 在塑件成型过程中, 模具结构对操作难易程度影响很大, 在大批量生产塑件时, 应尽量减少开、合模及取塑件过程中的手工操作, 尽可能采用自动开、合模和自动顶出机构。在全自动生产时还要保证塑件能自动从模具上脱落。另外, 模具制造成本对塑件的成本有很大影响。除简易模具外, 一般来说制模费用很高, 当批量较小时制模费用在塑件成本中所占的比例将会很大, 这时应尽可能采用结构合理而简单的模具, 以降低成本。从塑料模具的设计、制造及材料选择等方面考虑, 塑料模具技术发展趋势可归纳为以下几方面。

1. 塑料模具标准化

模具标准化程度及其标准零件的制造规模与使用范围, 对于缩短模具制造周期、节省材料消耗、降低成本、适应大规模批量化生产具有重要意义。目前我国模具标准化程度不足 30% , 远不及工业发达国家模具制造的标准化程度。在各种塑料模具中, 只有注射模具有关于模具零件、模具技术条件和标准模架等国家标准。具体包括: 塑料注射模零件 GB/T 4169.1 ~ 4169.23—2006; 塑料注射模模架 GB/T 12555—2006; 塑料注射模技术条件 GB/T 12554—2006 等。一些模具制造企业根据企业模具生产类型和规模, 为提高生产效率, 降低



成本,亦制定了企业标准或采用了相应的行业标准。

目前,塑料模具标准化的研究方向是热流道标准元件和模具标准温控装置,精密标准模架、精密导向件系列,标准模板及模具标准件的先进技术和等向性标准化模块。

2. CAD/CAM/CAE 技术的应用正向集成化、三维化、智能化方向发展

由于现代工业产品的不断开发和塑料制件的应用与发展,对塑料成型模具设计和制造提出的要求越来越高。传统的二维模具结构设计已越来越不适应现代化生产和集成化技术要求。模具设计、分析、制造的三维化、无纸化要求新一代模具设计软件以立体的、直观的感觉来设计模具,所采用的三维数字化模型能方便地用于产品结构的分析、模具可制造性评价和数控加工、成型过程模拟及信息的管理与共享。如 Pro/ENGINEER、UG 和 CATIA 等软件具备参数化、基于特征、全相关等特点,从而使模具并行工程成为可能。

3. 模具加工的新技术与发展

为了提高加工精度、缩短模具制造周期,塑料模具成型零件广泛应用电加工、数控加工及微机控制加工等先进技术,所能达到的尺寸精度、形状复杂程度、表面质量越来越高。模具加工技术与设备的现代化发展,推进了模具行业企业向着技术密集、专业化与柔性化相结合、高技术与高技艺相结合的方向发展。随着模具的日益精密、复杂和大型化,对检测设备的要求越来越高。目前国内厂家较多地使用高精度三坐标测量机,利用其检测模具加工制造质量,并利用其数字化扫描功能实现了从测量实物→建立数学模型→输出工程图样→模具制造的模具加工制造高效化。

4. 加强理论研究

随着塑料制件的大型化、复杂化和精密化发展,模具的制造成本也越来越高。如汽车保险杠、仪表板等塑料成型模具,重达几吨至十几吨,陶氏模具集团有限公司研制的“英国路虎汽车后保险杠注射模”,制件不仅大,而且高,模具型腔深达 850mm。这些模具如只凭经验来设计,往往会因为设计不当而造成模具的报废,将会损失数十万乃至上千万元的模具制造费用。所以,模具生产已由传统的经验设计向理论设计、数值模拟的方向发展。这些理论设计包括模板刚度、强度的计算,流变充型理论的研究和基于计算机应用的成型过程模拟分析等。到目前为止,有关挤出成型的流变理论和数学模型已基本建立,并且在生产实际中得到应用;有关注射成型的流变理论研究已取得阶段成果,注射成型时塑料熔体在一维和二维简单型腔中的充模流动理论和数学模型已经建立,今后的工作是如何将理论与生产实际相结合,并进一步加强对塑料熔体在三维型腔中流动行为的研究;中空吹塑成型理论和数学模型也已基本建立,并在生产中得到应用。

塑料成型理论研究的进展得益于计算机的应用,同时,也为进一步扩大计算机在塑料成型生产中的应用奠定了基础。

5. 塑料模具专用材料的研究与开发

模具材料选用在模具设计与制造中占有重要地位,直接影响模具成本、使用寿命及塑料制件的质量。针对各类塑料模具的工作条件和失效形式,为了提高模具使用寿命,并获得良好的切削加工工艺性能,国内外模具材料工作者进行了大量的研究工作,已开发出较为完善的系列化塑料模具专用钢,具体可分为 5 种类型。

(1) 基本型 如 55 钢,使用硬度小于 20HRC,切削加工性能好。但型腔表面粗糙度高,使用寿命低,现已被预硬型钢所代替。



(2) 预硬型 在中、低碳钢中加入适量合金元素的低合金钢。其淬透性高,加工性能好,调质后硬度为 25 ~ 35HRC,是目前应用较为广泛的通用塑料模具钢。其典型品种为 3Cr2Mo 或美国的 P20 钢。

(3) 时效硬化型 在中、低碳钢中加入 Ni、Cr、Al、Cu、Ti 等合金元素的合金钢,耐磨性和耐蚀性优于预硬型钢,经时效处理后,硬度可达 40 ~ 50HRC。其典型品种为 25CrNi3MoAl 或美国的 P21 钢、日本的 NAK80 钢等,多用于复杂、精密塑料模具,或大批量生产长寿命塑料模具。

(4) 热处理硬化型 这类塑料模具钢经淬火和回火处理后,使用硬度可达 50 ~ 60HRC;型腔能达到很高的镜面程度,并可进行表面强化处理。其典型品种为 Cr12MoV 或美国的 D2 钢等。

(5) 马氏体时效钢和粉末冶金模具钢 适用于要求高耐磨性、高耐蚀性、高韧性和超镜面的塑料模具,如 06Ni6CrMoVTiAl 马氏体时效钢或美国的 PS、日本的 ASP 等粉末冶金模具钢。

第三节 学习本课程的要求

塑料制件主要是靠成型模具获得的,其质量好坏、成本高低取决于模具的结构、质量和使用寿命。随着各行各业对大型、复杂、精密、美观、长寿命成型模具需求的日益增长和计算机技术在现代模具工业的广泛应用,模具行业向着理论知识深化、学科知识复合、技术更新活跃的方向发展,这对模具设计工作提出了更高的要求。模具作为重要的工艺装备,其设计、制造和技术开发方面人才的培养已引起国内外普遍重视。“塑料成型工艺与模具设计”课程是模具设计与制造方面人才培养的重要内容,是其人才培养体系的主干课程之一。

本书系统地介绍了塑料成型工艺的基本理论和工艺知识,紧密结合模具技术的新发展,阐述了模具设计的理论、方法和技术。塑料成型加工及其模具技术是一门不断发展的综合学科,不仅随着高分子材料合成技术的提高、成型机械与设备的革新、成型工艺的成熟而进步,而且随着计算机技术、数值模拟技术等塑料成型加工领域的渗透而发展。通过本课程学习,应达到如下目的:

- 1) 了解聚合物的物理性能、流动特性,成型过程中的物理、化学变化,以及塑料的组成、分类及其性能。
- 2) 掌握塑料成型的基本原理和工艺特点,熟悉成型设备对模具的要求。正确分析成型工艺对塑料制件结构和塑料模具的要求。
- 3) 掌握典型塑料成型模具结构特点与设计计算方法,通过训练,能够结合工程实际进行模具设计。
- 4) 初步具有运用计算机进行塑料模具设计与分析的能力。
- 5) 初步具有分析、解决成型技术现场问题的能力,包括初步掌握分析成型制件缺陷产生的原因和提出解决措施的能力。

“塑料成型工艺与模具设计”是一门实践性很强的课程,其主要内容都是在生产实践中逐步积累和丰富起来的,因此,学习本课程除了要重视基本理论知识学习外,特别强调理论联系实际,进行现场教学、实践教学。课程结束后,应进行 2 ~ 3 周的课程设计,以强化塑



料模具的设计能力和技巧。

思 考 题

1. 试分析当前塑料模具的发展趋势。
2. 学习本课程应当掌握哪些主要内容？应如何学好本课程？

第二章 塑料成型技术基础

第一节 塑料的组成和特性

一、塑料与聚合物

1. 聚合物

塑料的主要成分是树脂。树脂是一种高分子有机化合物，其特点是无明显的熔点，受热后逐渐软化，可溶解于有机溶剂，不溶解于水。树脂分天然树脂和合成树脂两种。从松树分泌出的松香、从热带昆虫分泌物中提取的虫胶、石油中的沥青等都属于天然树脂。天然树脂不仅在数量上，而且在性能上都远远不能满足工业产品的生产需要，于是人们根据天然树脂的分子结构和特性，用化学合成的方法制取了各种合成树脂。

合成树脂既保留了天然树脂的优点，同时又改善了成型加工工艺性和使用性能等，因此在现代工业生产中得到了广泛应用。目前，石油是制取合成树脂的主要原料。常用的合成树脂有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、酚醛树脂、氨基树脂、环氧树脂等。

通常，合成树脂是由低分子有机物经化学聚合反应或缩聚反应制成的，故又称其为聚合物。其分子中含有成千上万甚至几万个原子，它们以原低分子物分子结构为基本单元，按照一定方式重复排列，相对分子质量可达几万甚至上百万，分子长度也是原低分子长度的几万倍，甚至十几万倍。例如，聚乙烯分子的基本单元是低分子乙烯 C_2H_4 ，每个聚乙烯分子含有 n 个基本单元，并像下面这样连接起来：



这些基本单元称为“链节”，好像链条里的每个链节； n 称为“链节数”（聚合度），表示有多少个链节聚合在一起。由许多链节构成一个很长的聚合物分子，称为“分子链”。例如低分子乙烯的相对分子质量是 28，长度约为 $0.0005\mu m$ ；聚乙烯的相对分子质量是 56000，长度为 $6.8\mu m$ 。那么一个聚乙烯分子里就含有两千个乙烯分子，聚乙烯是低分子乙烯长度的 13600 倍。由此可知，聚合物是原子数很多、相对分子质量很高、分子链很长的高分子有机化合物。

2. 聚合物的分子结构及性能

聚合物的分子结构有三种形式：线型、带支链线型及体型。线型即大分子链呈线状，如图 2-1a 所示。在性能上，线型聚合物具有弹性和塑性，在适当的溶剂中可溶胀或溶解，升高温度时则软化至熔化而流动，而且，可反复多次熔化成型。高密度聚乙烯、聚苯乙烯等聚合物分子链属此种结构形式。

如果在大分子链之间有一些短链把它们相互交联起来，成为立体网状结构，则称为体型



聚合物（或称为网型聚合物），如图 2-1c 所示。体型聚合物脆性大，硬度高，成型前是可溶与可熔的，一经成型硬化后，就成为既不溶解又不熔融的固体，所以不能再次成型。

此外，还有一些聚合物的大分子主链上带有一些或长或短的小支链，整个分子链呈枝状，如图 2-1b 所示，称为带支链的线型聚合物。因为存在支链，结构不太紧密，因此，聚合物的机械强度较低，但溶解能力和塑性较高。低密度聚乙烯等聚合物分子链属此种结构形式。

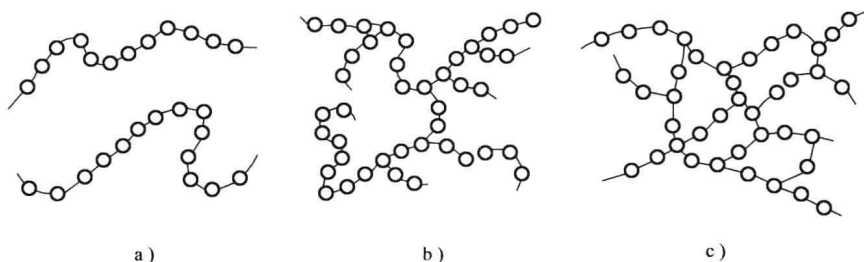


图 2-1 聚合物分子链结构示意图

a) 线型 b) 带支链线型 c) 体型

聚合物不但分子链很长，具有不同的结构，而且其分子的排列也具有不同的几何特点。据此可将聚合物的分子排列分为两种聚集态：一种是聚合物的分子有规则紧密的排列，称为结晶型聚合物；另一种是聚合物的分子排列处于无序状态，称为无定形聚合物。在一般情况下，结晶型聚合物的结晶不能百分之百进行，聚合物的分子聚集态结构由“结晶区”和“非结晶区（即无定形区）”构成，结晶区所占的质量分数称为结晶度。例如低压聚乙烯在室温时的结晶度为 85%~90%。结晶一般只发生在线型聚合物和含交联链不多的体型聚合物中。结晶对聚合物的性能影响很大，由于结晶造成了分子的紧密聚集状态，增强了分子间的作用力，所以使聚合物的强度、硬度、刚度及熔点、耐热性和耐化学性等性能都有所提高，而与大分子链运动有关的性能，如弹性、伸长率和冲击强度等则降低。

二、塑料的组成

在工业生产和应用上，单纯的聚合物性能往往不能满足加工成型和实际使用的要求，因此，需加入添加剂来改善其工艺性能、使用性能或降低成本，并由此构成了以聚合物（树脂）为主体的高分子材料——塑料。在塑料的组成中，树脂也起粘结作用，故也叫粘料。塑料的类型和基本性能（如名称、热塑性或热固性，物理、化学及力学性能等）取决于树脂。塑料中常用的添加剂及作用如下：

(1) 增塑剂 指能改善树脂成型时的流动性和提高塑料柔顺性的添加剂。其作用是降低聚合物分子之间的作用力。如普通聚氯乙烯只能制成硬聚氯乙烯塑件，加入适量增塑剂后，可以制成软聚氯乙烯薄膜或人造革。

对增塑剂的要求是：与树脂有较好的相溶性，性能稳定，挥发性小；不降低塑件的主要性能，无毒、无害、成本低。常用的增塑剂有甲酸酯类、磷酸酯类和氯化石蜡等。

增塑剂的使用应适量，用量过多会降低塑件的力学性能和耐热性能。

(2) 稳定剂 指能阻缓塑料变质的物质。其添加的目的是阻止或抑制树脂受热、光、氧和霉菌等外界因素作用而发生质量变异和性能下降。对稳定剂的要求是：能耐水、耐油、