




面向21世纪

高职高专系列教材

塑料模具 设计

◎陈志刚 主编

◎朱自成 主审

 机械工业出版社
China Machine Press

面向 21 世纪高职高专系列教材

塑料模具设计

陈志刚 主编

朱自成 主审



机械工业出版社

本书是根据面向 21 世纪高职高专机电专业系列教材编委会审定的模具专业“塑料模具设计”课程教学大纲组织编写的。书中主要介绍了塑料模具的结构设计及计算方法,系统地介绍了注射模、压缩模、压注模及挤出模的设计及计算方法,对气辅注射模具、塑件及模具的计算机辅助设计与制造作了适当的论述,并且对塑料成型工艺、常用塑料及成型设备也作了扼要的介绍。

本书是高职高专模具设计与制造专业教材,亦可作为各类学校模具专业教材使用,对从事模具设计与制造的工程技术人员也有较大的参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

塑料模具设计/陈志刚主编.

—北京:机械工业出版社,2002.1

面向 21 世纪高职高专系列教材

ISBN 7-111-08292-3

I. 塑... II. 陈... III. 塑料模具—设计—高等学校:技术学校—教材 IV. TQ320.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 084375 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:胡毓坚

责任编辑:王听讲

责任印制:郭景龙

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mmB5·10 印张·455 千字

0001—5000 册

定价:27.00 元

凡购本图书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话:(010) 68993821、68326677—2527

面向 21 世纪高职高专 机电专业系列教材编委会成员名单

顾问	王文斌 陈瑞藻 李 奇 冯炳尧
主任委员	吴家礼
副主任委员	朱家健 任建伟 孙希羚 梁 栋 张 华 帕尔哈提 朱建风
委员	刘靖华 韩满林 丛晓霞 朱旭平 陈永专 吕 汀 刘靖岩 刘桂荣 杨新友 陈剑鹤 张 伟 何彦廷 陶若冰 陈志刚
秘书长	胡毓坚
副秘书长	郝秀凯

出版说明

积极发展高职高专教育，完善职业教育体系，是我国职业教育改革和发展的一项重要任务。为了深化职业教育的改革，推进高职高专教育的发展，培养 21 世纪与我国现代化建设要求相适应的，并在生产、管理、服务第一线从事技术应用、经营管理、高新技术设备运作的高级职业技术应用型人才，尽快组织一批适应高职高专教学特色的教材，已成为各高职高专院校的迫切要求。为此，机械工业出版社与高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会联合组织了全国 40 多所院校的骨干教师，共同研究开发了一批计算机专业、电子技术专业和机电专业的高职高专系列教材。

各编委会确立了“根据高职高专学生的培养目标，强化实践能力和创新意识的培养，反映现代职业教育思想、教育方法和教育手段，造就技术实用型人才为立足点”的编写原则。力求使教材体现“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。

本套系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业、机电专业教材编委会分别会同各院校第一线专业教师针对高职高专计算机、电子技术和机电各专业的教学现状和教材存在的问题开展研讨，尤其针对目前高职高专教学改革的新情况，分别拟定各专业的课程设置计划和教材选题计划。在教材的编制中，将教学改革力度比较大、内容新颖、有创新精神、比较适合教学、需要修编的教材以及院校急需、适合社会经济发展的新选题优先列入选题规划。在广泛征集意见及充分讨论的基础上，由各编委会确定每个选题的编写大纲和编审人员，实行主编负责制，编委会通过责任编委和主审对教材进行质量监控。

担任本套教材编写的老师们都是来自各高职高专院校教育第一线的教师，他们以高度的责任感和使命感，经过近一年的努力，终于将本套教材呈现在广大读者面前。由于高职高专教育还处于起步阶段，加上我们的水平和经验有限，在教材的选题和编审中可能出现这样那样的问题，希望使用这套教材的教师和学生提出宝贵的意见和建议，以利我们今后不断改进，为我国的高职高专教育事业的繁荣而共同努力。

高职高专系列教材编委会
机械工业出版社

前 言

本教材是根据 2000 年面向 21 世纪高职高专机电专业系列教材编委会第一次全体会议审定的模具专业“塑料模具设计”课程教学大纲组织编写的。

本教材根据高职高专学校培养有较强动手实践能力的高等技术应用型专门人才的特点,在编写过程中,力求做到理论联系实际,并将代表国内外模具设计与制造先进水平的气辅注射、CAD/CAM/CAE 等新知识、新技术、新经验及时纳入本教材,从而体现出时代特色。

本教材参考学时为 100 学时,共有 9 章内容。第 1 章介绍了高聚物的分子结构和特性、热力学性能及在成型过程中的变化、塑料的组成与分类、工艺性能、热塑性塑料和热固性塑料;第 2 章介绍了塑料的注射模塑、压缩模塑、压注模塑和挤出模塑的成型原理、工艺过程及工艺规程的编制;第 3 章介绍了塑件工艺性分析、塑料模的分类和基本结构、分型面的选择、成型零件的设计、结构零件的设计及塑料模的设计程序;第 4 章介绍了注射模的基本结构及各组成部分的设计计算方法;第 5 章介绍了压缩模的基本结构及设计计算方法;第 6 章介绍了压注模的基本结构及设计计算方法;第 7 章介绍了挤塑模的组成、基本结构及设计计算方法;第 8 章介绍了气辅注射模具、热成型模具、泡沫塑料成型模具及中空成型模具;第 9 章介绍了塑件及注射模 CAD、CAE 及模具设计专家系统等内容。

参加本教材编写的有:陈志刚、王伟、刘洪贤、吴云飞、高淑苓、曹红云、孙晓林、陈文杰、李北雁。

本教材由陈志刚主编,朱自成主审。

本教材在编写过程中得到了面向 21 世纪高职高专机电专业系列教材编委会及天津电子信息职业技术学院的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免还存在错误和欠妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明	1.5.2 热固性塑料	34
前言	1.6 习题	38
绪论		1
0.1 塑料及塑料工业的发展概况		1
0.2 塑料工业在国民经济中的作用		2
0.3 模具工业在国民经济中的重要性		2
0.4 本课程的任务及要求		3
第1章 塑料概论	第2章 塑料成型原理与工艺	39
1.1 高聚物的分子结构与特性	2.1 注射成型原理与工艺	39
1.1.1 树脂与塑料的概念	2.1.1 注射成型原理和特点	39
1.1.2 高分子与低分子的区别	2.1.2 注射成型工艺过程	40
1.1.3 高聚物的分子结构与特性	2.1.3 注射成型工艺条件选择	42
1.1.4 结晶型与非结晶型高聚物的结构及性能	2.2 压缩成型原理与工艺	46
1.2 高聚物的热力学性能及在成型过程中的变化	2.2.1 压缩成型原理和特点	46
1.2.1 高聚物的热力学性能	2.2.2 压缩成型工艺过程	47
1.2.2 高聚物的加工工艺性能	2.2.3 压缩成型工艺条件的选择	48
1.2.3 高聚物的结晶	2.3 压注成型原理与工艺	49
1.2.4 高聚物的取向	2.3.1 压注成型原理和特点	49
1.2.5 高聚物的降解	2.3.2 压注成型的工艺过程和工艺条件	49
1.2.6 聚合物的交联	2.4 挤出成型原理与工艺	51
1.3 塑料的组成与分类	2.4.1 挤出成型原理	51
1.3.1 塑料的组成	2.4.2 挤出成型工艺过程	51
1.3.2 塑料的分类	2.4.3 挤出成型工艺参数	52
1.4 塑料的工艺性能	2.5 塑料成型工艺的制定	54
1.4.1 热塑性塑料的工艺性能	2.5.1 塑件的分析	54
1.4.2 热固性塑料的工艺性能	2.5.2 塑料成型方法及工艺过程的确定	54
1.5 常用塑料	2.5.3 成型设备和工具的选择	55
1.5.1 热塑性塑料	2.5.4 成型工艺条件的选择	55
	2.5.5 工艺文件的制定	55
	2.6 习题	55
	第3章 塑料模设计基础	56
	3.1 塑件的工艺性	56
	3.1.1 塑件的尺寸、公差和表面质量	56
	3.1.2 塑件的几何形状	58

3.1.3 塑料螺纹和齿轮	64	4.3 浇注系统设计	131
3.1.4 带嵌件的塑件设计	66	4.3.1 浇注系统组成及设计基本 原则	131
3.2 塑料模的分类和基本结构	69	4.3.2 普通浇注系统设计	133
3.2.1 塑料模的分类	69	4.3.3 热流道浇注系统的设计	147
3.2.2 塑料模的基本结构	71	4.3.4 排气和引气系统的设计	154
3.3 塑料模分型面选择	73	4.4 推出机构设计	156
3.3.1 分型面及其基本形式	74	4.4.1 推出机构的结构组成	156
3.3.2 分型面选择的一般原则	74	4.4.2 简单推出机构	157
3.4 成型零件的设计	77	4.4.3 推出机构的导向与复位	162
3.4.1 成型零件的结构设计	77	4.4.4 二级推出机构	163
3.4.2 成型零件的工作尺寸计算	88	4.4.5 双向推出机构	163
3.5 结构零件的设计	104	4.4.6 点浇口自动脱模机构	165
3.5.1 合模导向装置的设计	104	4.4.7 带螺纹塑件的脱模机构	166
3.5.2 支承零件的设计	107	4.5 侧向分型与抽芯机构的 设计	168
3.6 塑料模的设计程序	110	4.5.1 概述	168
3.6.1 接受任务书	110	4.5.2 斜导柱分型与抽芯机构	170
3.6.2 搜集、分析和消化原始 资料	110	4.5.3 斜滑块分型与抽芯机构	183
3.6.3 设计模塑成型工艺	111	4.5.4 其它形式的侧向分型抽芯 机构	187
3.6.4 熟悉成型设备的技术规范	111	4.6 热固性塑料注射模设计 简述	189
3.6.5 确定模具结构	111	4.6.1 概述	189
3.6.6 模具设计的有关计算	112	4.6.2 模具设计要点	190
3.6.7 模具总体尺寸的确定与结构 草图的绘制	112	4.7 模具加热与冷却系统设计	192
3.6.8 模具结构总装图和零件工作图 的绘制	112	4.7.1 概述	192
3.6.9 校对、审图后用计算机 出图	113	4.7.2 冷却系统设计	192
3.7 习题	113	4.7.3 加热装置的设计	194
第4章 注射模设计	114	4.8 精密注射模具设计	198
4.1 注射模的分类及典型结构	114	4.8.1 精密注射成型概述	198
4.1.1 概述	114	4.8.2 精密注射成型条件	199
4.1.2 注射模的结构组成	114	4.8.3 精密注射模具设计要点	200
4.1.3 注射模的分类及典型结构	115	4.9 习题	203
4.2 注射模与注射机的关系	118	第5章 压缩模设计	204
4.2.1 注射机的分类及技术规范	118	5.1 压缩模结构及分类	204
4.2.2 注射机有关参数的校核	123	5.1.1 压缩模的基本结构	204

5.1.2 压缩模的分类	206	7.3.2 流线型机头	254
5.2 压缩模与压机的关系	208	7.4 习题	255
5.2.1 压机种类与技术规范	208		
5.2.2 压机有关参数的校核	210	第 8 章 其它塑料成型方法与模具	
5.3 压缩模的设计	214	设计简介	256
5.3.1 塑件在模具内加压方向 的确定	214	8.1 气辅注射成型工艺与 模具设计	256
5.3.2 凸、凹模的配合形式	216	8.1.1 概述	256
5.3.3 凹模加料腔尺寸的计算	220	8.1.2 气辅塑件设计	258
5.3.4 压缩模脱模机构设计	223	8.1.3 气辅注射成型模具设计的 基本原则	262
5.3.5 压缩模的侧向分型抽芯 机构	229	8.2 热成型模具	262
5.4 习题	231	8.2.1 概述	262
		8.2.2 热成型的方法	262
第 6 章 压注模设计	232	8.2.3 热成型模具设计	266
6.1 压注模类型与结构	232	8.2.4 热成型模具材料	268
6.1.1 压注模类型	232	8.3 泡沫塑料成型及模具设计	269
6.1.2 压注模结构	233	8.3.1 概述	269
6.2 压注模结构设计	235	8.3.2 可发性聚苯乙烯泡沫塑料的 生产过程	270
6.2.1 加料室设计	235	8.3.3 可发性聚苯乙烯发泡模 图例	272
6.2.2 压料柱塞设计	240	8.4 中空成型	274
6.2.3 浇注系统设计	241	8.4.1 概述	274
6.2.4 排气槽设计	243	8.4.2 吹塑工艺的影响因素	275
6.3 习题	244	8.4.3 挤出吹塑	276
		8.4.4 注-拉-吹塑成型模具技术	279
第 7 章 挤塑模设计	245	8.5 习题	281
7.1 概述	245		
7.1.1 挤塑成型模具典型结构 分析	245	第 9 章 塑件及模具的计算机辅助	
7.1.2 挤出成型机头分类和设计 原则	246	设计简介	282
7.1.3 挤出成型机及辅助设备	247	9.1 概述	282
7.2 管材挤出成型机头	248	9.1.1 CAD/CAM 是现代模具工业的 重要组成部分	282
7.2.1 挤出成型机头结构	248	9.1.2 塑料注射模 CAD/CAM 的 发展概况	283
7.2.2 工艺参数的确定	249	9.1.3 塑料型材挤出模 CAD 发展概况	285
7.2.3 管材的定径	252		
7.3 异型材挤出成型机头	253		
7.3.1 板式机头	254		

9.2 塑件 CAD	286	9.3.7 冷却系统设计	300
9.2.1 概述	286	9.3.8 模具零件强度和刚度校核	301
9.2.2 塑件设计目录编制	288	9.4 注射模 CAE 简介	301
9.2.3 塑件设计的各种要素	290	9.4.1 概述	301
9.3 注射模结构 CAD	291	9.4.2 注射模 CAE 的内容	302
9.3.1 概述	291	9.4.3 注射模 CAE 的应用	302
9.3.2 注射模结构 CAD 的内容与 特点	292	9.5 模具设计专家系统简介	304
9.3.3 模具设计准则与数据处 理	293	9.5.1 概述	304
9.3.4 模具 CAD 中的几何造型	295	9.5.2 专家系统结构	304
9.3.5 注射模结构图的生成	297	9.5.3 专家系统在塑料注射成型中 的应用	305
9.3.6 浇注系统的交互设计	299	9.6 习题	306
		主要参考文献	308

绪 论

0.1 塑料及塑料工业的发展概况

塑料工业是发展历史短但发展速度惊人的新兴工业之一。据统计,全世界的塑料年产量 1910 年为 2 万 t,1930 年为 10 万 t,1950 年为 150 万 t,1970 年为 3000 万 t,1990 年为 1 亿 t。现今,塑料已成为四大工业基础材料(钢铁、木材、水泥和塑料)之一,21 世纪将跨入塑料工业迅猛发展的时代。

20 世纪 20 年代以前,主要是发展和利用热固性塑料。1868 年硝化纤维产生,1877 年用苯酚和甲醛合成酚醛树脂,1909 年酚醛树脂实现工业化生产,制成电话机壳、绝缘用零件等,这是第一次用人工合成树脂制成的塑料,1920 年氨基塑料(苯胺-甲醛)产生。酚醛塑料和氨基塑料在当时的电器和仪器制造业上得到广泛应用。

20 世纪 20 年代以后,逐步发展热塑性塑料。20 世纪 20~30 年代,相继产生了醇酸树脂、聚氯乙烯、丙烯酸酯类、聚苯乙烯和聚酰胺等,这个时期塑料工业的基础原料主要以煤及煤焦油产品为主,塑料产量不是很大。20 世纪 40 年代以后,随着石油、天然气的广泛开发利用,塑料的产量和品种得到了迅速发展,相继产生了聚乙烯、不饱和聚酯、氟塑料、环氧树脂、聚甲醛、聚碳酸酯等。20 世纪 60 年代后工程塑料成为研究重点,它能使构件结构简化、重量减轻、易于加工、省材料、节约成本等,因此得到广泛应用。

我国塑料生产在解放前基本上是空白,只能生产酚醛塑料、氨基塑料等少数几个品种,而且主要原料还依靠进口。解放后,经过 50 多年的发展,特别是改革开放后的 20 多年里,我国合成树脂的产量及塑料制品增长迅速,合成树脂由 1980 年的 89.8 万 t 增加到 1996 年的 495.3 万 t。塑料制品产量由 1980 年的 103.7 万 t 增加到 1996 年的 1574.2 万 t,合成树脂和塑料制品产量均居世界前十位。

塑料工业包括原料(合成树脂和助剂)生产、塑料成型加工工艺、塑料成型设备及成型模具四部分。随着塑料的生产及应用的扩大,塑料成型工艺得到逐步发展,相继产生了浇铸成型、压缩成型、粉末成型、层压成型、压注成型、挤出成型、注射成型、压延成型、吹塑成型、发泡成型、热成型、气辅成型等成型加工方法,塑料成型工艺正向着高速、高效、自动化方向发展。塑料产量的提高和应用领域的扩大,也促进了成型设备和模具的不断发展。塑料成型设备向着大型化、微型化、高速化、自动化、精密化方向发展,同时在成型设备和模具设计及制造上引进了 CAD/CAM/CAE 等先进技术。

我国的塑料工业已具备了一定的规模。塑料成型设备生产能力和质量都有了较大程度提高,已有一批专业化工厂可提供系列产品。开发研制了一批具有先进水平的设备,如 32kg 大型注射机、数控热固性塑料注射机、小型精密注射机、农膜机组、地膜机组、编织袋成型机组、计算机群控注射机等,为我国塑料成型技术的发展创造了有利条件。

0.2 塑料工业在国民经济中的作用

由于塑料具有质量轻、强度高、耐腐蚀、绝缘性好、易着色、制件可加工成任意形状,而且具有生产率高、价格低廉等特点,所以应用日趋广泛,年增长居四大工业材料之首,已经深入到国民经济的各个部门。

我国塑料制品工业发展于 20 世纪 50 年代后期,主要用于日常用品,如塑料鞋、日用塑料薄膜等。进入 20 世纪 70 年代以来,塑料的应用已涉及到国民经济和现实生活中的各个方面,如仪表、机械制造、汽车、家用电器、化工、建材、医疗卫生、农业、军事、航天和原子能工业中,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 ABS 塑料有 1/4 用于汽车、1/3 用于家用电器和视听设备中。目前我国地膜、棚膜等覆盖面积已位居世界首位。包装用塑料制品已达 100 多万 t,各种塑料编织袋达 50 亿条,为世界之最。在建材应用上,各种塑料门窗、管道、地板革、异型材等应用日趋广泛。到 2010 年,塑料门窗和塑料排水管的普及率将达到 30%~50%。由于塑料材料具有不能被其它材料所替代的特性,使得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。

0.3 模具工业在国民经济中的重要性

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。模具又是“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“模具工业是美国工业的基石”,日本则称“模具是促进社会繁荣富裕的动力”。

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,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。以汽车、摩托车行业模具市场为例,在工业发达国家,汽车、摩托车行业是模具的最大市场,其占整个模具市场的一半左右。汽车工业是我国国民经济五大支柱产业之一,汽车模具作为发展重点,已在汽车工业产业政策中得到明确。到 2005 年,我国汽车年总需求量约 300 万辆,汽车基本车型将达到 170 种,更新车型和改装车型 430 种,而且汽车换型时间不断缩短,轿车一般 3~4 年,轻型车 4~5 年,其它车型 6~8 年。汽车换型时约有 80%的模具需要更换,一个型号的汽车,所需模具达几千副,价值上亿元。据介绍,到 2005 年,我国生产的各类汽车模具只能满足规划需要量的 50%左右。1997 年我国摩托车产量超过 1000 万辆,居世界第一。这其中共有 14 种排量,80 多个车型,1000 多个型号,到 2000 年生产能力达到 2000 万辆,每辆摩托车需模具近 1000 副,价值 1000 多万元。

目前,全世界的模具年产值约有 600~650 亿美元。发达国家,如美国、日本、法国及瑞士等国家,模具出口约占本国模具年产值的 1/3。而我国模具出口数量极少,1998 年模

具出口为 0.96 亿美元,约占我国模具总产值的 3.6%,与发达国家的差距比较大。

当前,由于产品品种增多,更新加快,市场竞争激烈,因此对模具的要求是交货期短、精度高及成本低,塑料成型模具正朝着高效率、高精度及高寿命方向发展。随着现代产品对形状、尺寸、精度及零件整体性要求的提高,以及许多新材料、新工艺的广泛应用,对现代模具的结构形式和型腔形状的要求也日益复杂。许多精密塑料成型模具结构的复杂程度近似于一台精密机床,不仅型腔表面形状复杂,而且模具中零件的配套性要求极高,加工中必须保证多个模具之间几何形状的协调一致。例如塑料注射模具的设计与制造具有三维几何形状复杂及运动配合精度要求高等特点,同时涉及模具强度计算、模具寿命计算及熔融塑料在模具中流动预测等复杂的工程运算问题,是一项综合性的复杂技术工作。只有在成型设备和模具设计及制造方面引入 CAD/CAM/CAE 先进技术,才能迅速地完成模具各类尺寸的计算以及平衡浇注系统、模拟注射过程的计算和分析,通过反复交互,完成查询表格数据、零件目录,绘制模具图纸和明细表等工作,使设计的模具达到尽可能的完美,让模具设计人员从繁重的重复劳动中解脱出来,有较多的时间从事创造性工作,以提高模具的设计质量。

模具标准化是发展模具生产技术的核心,包括模具设计、制造、材料、验收和使用等方面,是开展模具计算机 CAD/CAM/CAE 的前提。国外塑料模标准化程度很高,从材料、品种、规格、结构、精度及验收等都实现了标准化,而且还建立了模具标准结构典型组合。标准化是专业化生产的重要前提,也是提高劳动生产率,提高技术水平,提高产品质量,降低产品成本及改善劳动组织的最重要的条件之一。模具的标准化程度越高,专业化生产越强,因而模具生产周期越短,生产成本越低,模具质量越高;同时模具设计简化,交货期限缩短,产品更新换代迅速。我国结合实际情况,已制定出了塑料模国家标准,塑料模专业化生产工厂可提供标准件和标准模架,这些为简化设计,缩短制模周期,提高产品质量,提供了保证。

我国长期以来,对模具重视不够,没有认识到模具的重要性,各部门都用模具,但都不管模具,90 年代以前大专院校很少有模具专业。改革开放后,国家开始重视模具工业的发展,1984 年全国模具工业协会成立;1989 年 3 月国家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;1997 年以后,又把模具及模具加工技术和成型设备列入国家重点发展产业,同时对 80 多家国有专业模具厂实行增值税返还 70% 的优惠政策,扶植模具工业的发展。所有这些,都充分体现了国务院和国家有关部门对发展模具工业的重视和支持,也体现了模具工业在国民经济中的重要性。

0.4 本课程的任务及要求

塑料模具设计课程,是模具设计与制造专业的主要专业课之一,是培养模具设计人才的基本教材。通过学习本课程,学生应能达到以下几方面要求:

- (1)系统了解塑料及有关成型原理、工艺特点,正确分析成型工艺对模具的要求。
- (2)掌握模具零部件设计、计算方法、模具结构特点及设计程序等。
- (3)了解其它模具有关知识及模具 CAD/CAM。

(4)学完本课程后,应具有独立设计中等复杂程度的注射模、压缩模及压注模的能力。

本课程与有机化学、机械制图、公差配合、材料学、模具制造工艺学等课程关系紧密,是以前学过内容的综合应用。另外,在讲授基本理论及基础知识的同时,还需紧密联系实际,注意培养学生设计能力,尤其是注射模的设计能力。在学完注射模、压缩模、压注模之后,应安排课程设计,以巩固和加深对所学内容的理解。在学完本课程后应有毕业设计,最好采用实题真做的形式,以提高学生的设计能力及解决实际问题的能力。

第 1 章 塑料概论

1.1 高聚物的分子结构与特性

1.1.1 树脂与塑料的概念

塑料的主要成分是树脂。最早,树脂是指从树木中分泌出的脂物,如松香就是从松树分泌出的乳液状松脂中分离出来的。后来又发现,从热带昆虫的分泌物中也可提取树脂,如虫胶。有些树脂还可以从石油中得到,如沥青。这些都属于天然树脂,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,而不溶解于水。由于天然树脂无论数量还是质量都不能满足现实需要,因此,在实际生产中所用的树脂都是合成树脂。合成树脂是人们按照天然树脂的分子结构和特性,用人工方法合成制造的。由于其是由相对分子质量小的物质经聚合反应而制得的相对分子质量大的物质,因此称之为高分子聚合物,简称高聚物。一般在常温常压下为固体,也有为粘稠液体。

有些合成树脂可以直接作为塑料使用(如聚乙烯、聚苯乙烯、尼龙等),但有些合成树脂必须要在其中加入一些助剂,才能作为塑料使用(如酚醛树脂、氨基树脂、聚氯乙烯等)。

1.1.2 高分子与低分子的区别

不管是天然树脂还是合成树脂,它们都属于高分子聚合物,塑料的许多优异性能都与高聚物的分子结构密切相关。下面从三个方面介绍一下高分子与低分子的区别。

1. 分子中所含原子数 在低分子物质中,每个分子所含原子数为几个、几十个最多几百个。而高分子物质中,每个分子所含原子数为几千个、几万个甚至几十万个原子。

由此可见,高分子所含原子数远远多于低分子。

2. 相对分子质量 低分子物质的相对分子质量,为几十、几百,而且相对分子质量是固定的。而高分子物质的相对分子质量可达几万、几十万、上百万甚至上千万,而且相对分子质量还可以根据需要进行改变。另外,树脂中无数个大分子的相对分子质量并不完全相同,有很大差别,因此高分子化合物的相对分子质量采用平均相对分子质量来表示。

由此可见,高分子的相对分子质量远远大于低分子。

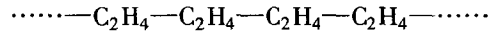
3. 分子长度 高分子的分子长度远大于低分子的分子长度,如低分子乙烯分子长度为 $0.005\mu\text{m}$,而高分子聚乙烯分子长度为 $6.8\mu\text{m}$,相差悬殊。

从以上三个方面的区别可知,高分子是含原子数多、相对分子质量大及分子很长的巨型分子,因此它有许多不同于低分子物质的特性。

1.1.3 高聚物的分子结构与特性

实际上仅从高分子所含原子个数、相对分子质量的大小和分子的长短上是不足以表

达其本身的结构特性的。因为在每个高分子里都含有一种或数种原子或原子团,这些原子或原子团按一定的方式排列,首先是排列成许多具有相同结构的小单元,称之为结构单元或“链节”,这些结构单元再通过化学键连成一个高分子,这个过程称之为“聚合”。高分子中所含结构单元的数量,称为“聚合度”或“链节数”,用“ n ”来表示。例如,聚乙烯分子里的小单元(链节)为 C_2H_4 ,每个聚乙烯分子中含有 n 个像下面这样连接起来的小单元(链节):



这种由许多链节(小单元)构成的一个很长的聚合物分子,我们称之为“分子链”。如果聚乙烯的相对分子质量若是 56000,那么一个聚乙烯分子里就含有两千多个乙烯单体分子(单体分子是指用以合成聚合物的小分子)。

高分子从单体分子看有一定聚合度, n 是某一整数,可以从数百个到数万个,相对分子质量是确定的。但对于一块高分子材料来说,由于树脂在聚合过程中受各种复杂因素的影响,造成无数个高分子的聚合度不可能完全相同,有很大的差别,因此树脂是由许多聚合度相同或不同的高分子聚合起来的,是混合物,实验测得的相对分子质量是平均相对分子质量。树脂的平均相对分子质量和树脂中无数个单体分子的聚合度不同,对塑料的许多性能影响较大,如拉伸、冲击、弹性及流变性能等。即使是同种塑料,其树脂相对平均相对分子质量相同,但单体分子的聚合度不同,性能上也会有明显的差异。

如果高聚物是由一根根分子链组成的,则称为线型高聚物;若是在大分子链之间有一些短链把它们连起来,则称为体型高聚物;介于二者之间的,称为支链型高聚物,其与体型结构没有严格区别。图 1-1 所示为高聚物分子链的分子结构示意图。

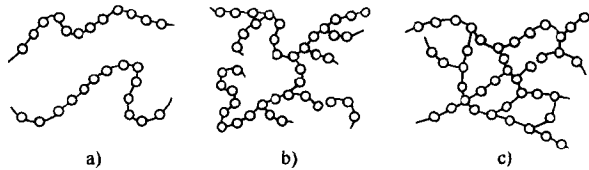


图 1-1 高聚物分子链的分子结构示意图
a)线型 b)支链型 c)体型

高分子聚合物分子结构不同,其性能也不同。线型高聚物具有可溶性和可熔性,成型后性质不变,因此可多次成型。体型高聚物成型前是可溶和可熔的,成型后变成既不溶解又不熔融的固体,所以不能再次成型。

1.1.4 结晶型与非结晶型高聚物的结构及性能

结晶是指聚合物从熔融状态到冷凝时,分子由独立移动的、完全处于无秩序状态变成分子停止自由移动,取得一个略微固定的位置,并有一个使它们自己排列成为正规模型取向的一种现象。

聚合物由高温熔体向低温固态转变过程中,若分子链能够稳定规整排列,则称为结晶型;分子链不能得到规整排列,则称为非结晶型。

分子链的排列及相互之间的作用,即结晶,对材料性能有明显影响。结晶聚合物和非结晶聚合物的物理性能及注射性能有很大差别。结晶高聚物一般具有耐热性、非透明性和较好的力学性能,而非结晶型高聚物则相反。

1.2 高聚物的热力学性能及在成型过程中的变化

1.2.1 高聚物的热力学性能

高聚物的分子结构决定了分子运动的多样性,即物理状态。影响高聚物物理状态的因素很多,如分子结构、化学组成、受力情况及环境温度等,但在聚合物及其组成一定时,分子的运动程度和规模主要受温度影响,随着温度的变化,分子热运动表现出三种不同的力学状态,即玻璃态、高弹态及粘流态,在一定条件下它们可以发生转变。图 1-2 表示了聚合物的物理状态与温度的关系。

玻璃化温度(T_g)是指非结晶型或半结晶型的高聚物从粘流态或高弹态(橡胶态)向玻璃态转变(或相反转变)的温度,它是塑件的最高使用温度。

流动温度(T_f 或 T_m)是指从高弹态向粘流态转变(或相反转变)的温度,它是塑料的最低成型温度。

热分解温度(T_d)是指聚合物在高温下开始发生分解的温度,是塑料最高成型温度。

通常所称的塑料,是指在室温下处于玻璃态的一类高聚物。如果在室温下高聚物处在高弹态,则属于橡胶材料。从实用角度看,玻璃化温度是塑料材料工作温度的上限,超过玻璃化温度,塑料就会丧失或大大降低其力学性能。

从图 1-2 中还可反映出非结晶聚合物与结晶聚合物的物理状态与温度的关系,有两点不同,一是流动温度表示不同,非结晶聚合物与结晶聚合物分别用 T_f 和 T_m 来表示;二是完全结晶聚合物在 T_g 和 T_m 之间基本上不呈高弹态,其形变基本保持不变,有利于扩大聚合物的使用温度范围。

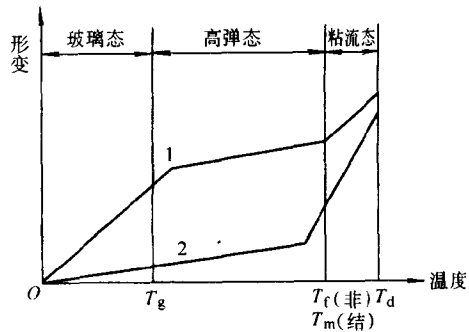


图 1-2 聚合物物理状态与温度的关系
1—线型非结晶聚合物 2—线型结晶聚合物

1.2.2 高聚物的加工工艺性能

塑料成型加工与聚合物随温度的三态转变有直接关系,如图 1-3 所示。

高聚物在 T_g 温度以下处于玻璃态,聚合物为坚硬的固体,弹性模量和力学强度比较高,在外力作用下,分子链只能发生很小的弹性变形,因此不宜进行较大变形的成型,但可以进行车、铣、刨、磨及锯等切削加工。