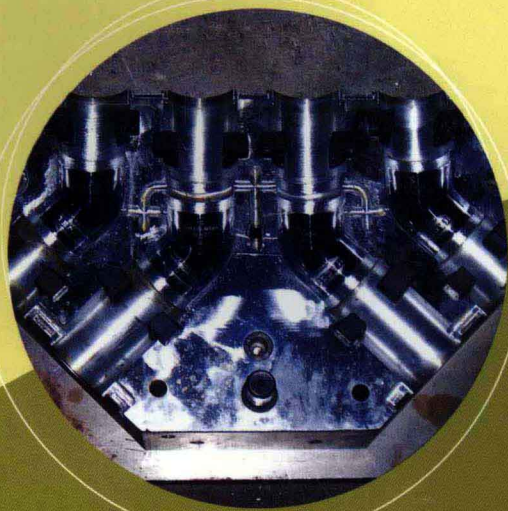
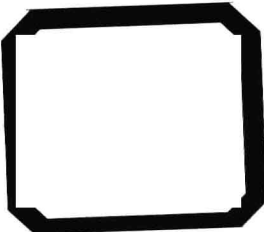


 21世纪高等院校机械专业应用型精品规划教材

塑料成型工艺与 模具设计

◎ 主编 朱三武 贾颖莲





校机械专业应用型精品规划教材

塑料成型工艺与模具设计

主 编 朱三武 贾颖莲
副主编 刘国亮 何 芳 胡旂旆

江苏工业学院图书馆
藏书章

 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

内容提要

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发展动向,阐述了模具设计的理论、方法和技巧。全书除绪论外共分8章,包括塑料概论、塑料成型工艺及塑料制品的结构工艺性、注射成型模具设计、塑料压缩压注模具、挤出成型、气动成型模具、塑料模具设计与材料选择、塑件与模具的CAD/CAM/CAE简介等。

本书可作为普通高等院校、职业院校模具设计与制造专业教材,也可供机械类其他专业或模具企业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

塑料成型工艺与模具设计/朱三武等主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社, 2009. 8
ISBN 978-7-81133-515-6

I. 塑… II. 朱… III. ①塑料成型—工艺②塑料模具—设计
IV. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 133719 号

出版发行:哈尔滨工程大学出版社

社 址:哈尔滨市南岗区东大直街 124 号

邮 编:150001

发行电话:0451-82519328

传 真:0451-82519699

经 销:新华书店

印 刷:北京市通州京华印刷制版厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:19.5

字 数:524 千字

版 次:2009 年 8 月第 1 版

印 次:2009 年 8 月第 1 次印刷

定 价:37.00 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

网上书店: www.kejibook.com

对本书内容有任何疑问及建议,请与本书责编联系。邮箱: jixie_book@sina.com

出版说明

近年来,我国的高等教育事业实现了跨越式发展,为社会主义现代化建设事业培养了大批急需的各类人才,对提高劳动者的素质,建设社会主义精神文明,促进社会进步和经济发展发挥了重要的作用。

随着我国科技的发展以及经济的腾飞,高技能人才的缺乏逐渐成为影响社会快速、健康发展的瓶颈。高等院校作为培养各类高素质人才的重要基地,必然要对教育教学制度进行改革,以改革教育思想和教育观念为先导,以促进就业为目标,实行多样、灵活、开放的人才培养模式,把教育教学与生产实践、社会服务、技术推广结合起来,加强实践教学和就业能力的培养,逐步探索建立适应我国社会主义现代化建设需要,能顺利实现高等人才培养目标的高等教育思想和教育理念。

要加快高等教育改革和发展的步伐,就必须对其课程体系和教学模式等问题进行探索。在这个过程中,教材的建设与改革无疑起着至关重要的基础性作用,高质量的教材是培养高素质人才的保证。高等教育教材作为知识的载体和教学的基本工具,直接关系到高等教育能否为社会培养并输送符合要求的高技能人才。

为推动高等教育教材的建设,加快高等教育改革和发展的步伐,我们精心组织了一批具有丰富教学和科研经验的教师,针对高等院校机械学科相关专业的教学特点,编写了《21世纪高等院校机械专业应用型精品规划教材》。本系列教材以使学生在具有必备的基础理论知识和专业知识的基础上,重点掌握从事本专业领域实际工作的基本能力和基本技能为宗旨,致力于培养基础理论知识适度、技术应用能力强、知识面宽、素质高的应用型人才。

本系列教材非常注重培养学生的实践技能,力避传统教材“全而深”的教学模式,将“教、学、做”有机地融为一体,在教给学生知识的同时,强化对学生实际操作能力的培养。在编写过程中,教材力求从实际应用的需要出发,尽量减少枯燥、实用性不强的理论灌输,充分体现出“以行业为导向,以能力为本位,以学生为中心”的特色,从而使教材更具有实用性和前瞻性,与就业市场结合更为紧密。

本系列教材的编写力求突破陈旧的教育理念,采用了“以案例导入教学”的编写模式。在对某一理论进行讲解的同时,紧密结合实际,援引大量鲜明实用的案例进行分析说明,以达到编写高质量教材的目标。这些精心设计的案例不但可以方便教师授课,同时又可以启发学生思考,加快对学生实践能力的培养,改革人才的培养模式。

本系列教材可供普通高等院校、高等职业院校、成人高校及各类培训学校机械学科机械设计与制造、数控技术、模具设计与制造、机电一体化等相关专业使用。在编写过程中,得到了许多高等院校老师的大力支持,在此特向他们致以衷心的感谢,同时也对所有参与本系列教材出版工作的人员表示感谢!

前 言

随着现代制造技术的迅猛发展及电子技术的应用,在工业生产中模具已成为各种工业生产中必不可少的重要工艺装备,尤其是塑料模具在生产中应用更为广泛,成为各种模具设计、制造与研究中最具代表性的模具之一。

本书针对现代塑料模具工业发展的现状,系统地介绍塑料成型工艺的基本理论与工艺知识,紧密结合当前模具技术的新发展,阐述了模具设计和制造技术。全书除绪论外共分八章。第1章介绍塑料成型与模具设计所必需的理论基础,包括塑料的分子结构、热力学性能与其他工艺性能、塑料的组成以及常用塑料的特点与成型特性;第2章介绍各种塑料成型原理及工艺参数的确定,塑料制品的结构工艺性要求;第3章是本书的重点,主要介绍注射成型模具的设计与制造,包括注射模具的分类、注射模具与注射机的关系、注射模具分型面的选择与确定、注射模具浇注系统、成型零部件、结构零部件、推出机构、侧向分型与抽芯机构、温度调节系统等的设计,注射模具设计实例以及典型注射模具结构,另外还介绍了一部分注射模具发展中的新技术;第4章介绍了热固性塑料压缩压注模具的设计与制造工艺;第5章介绍挤出成型工艺的有关知识;第6章介绍目前常用的气体辅助成型塑料制品的工艺方法;第7章介绍塑料模具的材料选用及模具设计的一般程序;第8章扼要地介绍现代模具设计时采用的计算机辅助设计技术。

本书对每一类的模具设计介绍中,都详细说明了模具的结构组成、结构特点、工作原理、设计要点、成型设备及模具材料要求等,并且在内容上尽量采用最新的国家标准。考虑到模具专业学生的知识结构,在内容的安排上力求知识结构的完整统一,在详略的处理和重点的突出上较为鲜明,以便于教师组织教学。

本书由朱三武、贾颖莲任主编,刘国亮、何芳、胡旖旎任副主编,并由朱三武负责全书的统稿及修改工作。

本书在编写过程中得到了有关院校和企业技术人员的大力支持,在此致以衷心的感谢。由于编者实践经验和专业水平有限,书中难免存在不当和错漏之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

绪 论	1
第 1 章 塑料概论	6
1.1 高聚物的分子结构	6
1.1.1 树脂与塑料的概念	6
1.1.2 高聚物的分子结构与特性	6
1.1.3 结晶型和非结晶型高聚物的结构与特性	7
1.2 高聚物的热力学性能及在成型过程中的变化	8
1.2.1 高聚物的热力学性能	8
1.2.2 高聚物的加工工艺性能	9
1.2.3 高聚物的结晶	9
1.2.4 高聚物的取向	9
1.2.5 高聚物的降解	10
1.2.6 高聚物的交联	10
1.3 塑料的组成及分类	11
1.3.1 塑料的组成	11
1.3.2 塑料的分类	12
1.4 塑料的工艺性能	13
1.4.1 热塑性塑料的工艺性能	13
1.4.2 热固性塑料的工艺性能	16
1.5 常用塑料	18
1.5.1 热塑性塑料	18
1.5.2 热固性塑料	24
1.6 塑料的改性	26
1.6.1 塑料的增强改性	26
1.6.2 塑料的其他改性	28
第 2 章 塑料成型工艺及塑料制品的结构工艺性	30
2.1 塑料成型原理及工艺	30
2.1.1 注射成型	30
2.1.2 压缩成型	33
2.1.3 压注成型	36
2.1.4 挤出成型	37
2.1.5 气动成型	39
2.1.6 塑料浇铸成型	40
2.1.7 泡沫塑料压制成型	41
2.2 塑料制品的工艺性	41
2.2.1 塑料制品的尺寸、公差和表面粗糙度	42

2.2.2 塑料制品的结构形状	44
2.2.3 塑料螺纹和齿轮	53
2.2.4 带嵌件的塑料制品的设计	56
第3章 注射成型模具设计	59
3.1 注射模组成、分类及典型结构	59
3.1.1 注射模的组成	59
3.1.2 注射模的分类及典型结构	60
3.2 注射机	63
3.2.1 注射机的工作原理及分类	63
3.2.2 注射机注射装置的结构	65
3.2.3 注射机合模装置的结构	70
3.2.4 注射机的技术参数	71
3.3 分型面的选择与浇注系统的设计	78
3.3.1 塑料模分型面的选择	78
3.3.2 普通浇注系统的组成及设计基本原则	81
3.3.3 普通浇注系统的设计	82
3.3.4 热流道浇注系统的设计	95
3.3.5 排气系统的设计	101
3.4 成型零部件的设计	103
3.4.1 成型零部件的结构设计	103
3.4.2 成型零部件的工作尺寸计算	111
3.4.3 成型零部件的强度与刚度计算	121
3.5 结构零部件设计	124
3.5.1 标准注射模架	124
3.5.2 支承零部件的设计	127
3.5.3 定模座板、动模座板的设计	128
3.5.4 合模导向机构的设计	128
3.6 推出机构设计	131
3.6.1 推出机构的结构组成及分类	131
3.6.2 推出力的有关计算	133
3.6.3 一次推出机构	133
3.6.4 二次推出机构	138
3.6.5 双向推出机构	141
3.6.6 浇注系统凝料的脱模机构	143
3.6.7 带螺纹塑件的脱模	144
3.7 侧向分型与抽芯机构设计	148
3.7.1 侧向分型与抽芯机构的分类	148
3.7.2 斜导柱侧向分型与抽芯机构	148
3.7.3 斜滑块侧向分型与抽芯机构	164
3.7.4 其他侧向分型与抽芯机构	169
3.8 温度调节系统	177
3.8.1 模具温度与塑料成型温度的关系	177
3.8.2 冷却回路的尺寸确定与布置	178

3.8.3 常见冷却装置的结构	181
3.8.4 模具的加热系统	182
3.9 注射模设计实例与典型结构	184
3.9.1 设计实例	184
3.9.2 典型结构	191
3.10 注射模新技术	195
3.10.1 热固性塑料注射成型	195
3.10.2 气体辅助注射成型	199
3.10.3 低发泡注射成型	203
3.10.4 共注射成型	205
3.10.5 精密注射成型	207
第4章 塑料压缩、压注模具	212
4.1 塑料压缩、压注模具概述	212
4.1.1 压缩模具的类型	212
4.1.2 压缩模具的基本结构	215
4.1.3 压注模具的类型	216
4.1.4 压注模具的结构组成	218
4.2 压缩模具的设计	219
4.2.1 压机种类与技术参数	219
4.2.2 压机有关工艺参数的校核	221
4.2.3 压缩模具各构成部分的设计	225
4.3 压注模具的设计	237
4.3.1 加料室的设计	237
4.3.2 压料柱塞设计	240
4.3.3 浇注系统的设计	241
4.3.4 排气槽的设计	243
第5章 挤出成型	245
5.1 挤出机头概述	245
5.1.1 挤出成型模具的结构组成	245
5.1.2 挤出机头的分类	246
5.1.3 挤出机头的设计原则	247
5.1.4 挤出机头材料的选择	247
5.2 管材挤出机头	248
5.2.1 管材挤出机头的形式	248
5.2.2 管材挤出机头零件的设计	249
5.2.3 定径套的设计	252
5.3 吹塑薄膜机头	254
5.3.1 吹塑薄膜机头的结构形式	254
5.3.2 机头几何参数的确定	257
5.4 其他挤出成型机头	257
5.4.1 棒材挤出成型机头	257
5.4.2 异型材挤出成型机头	258
5.4.3 板、片材挤出成型机头	261

5.4.4 电线电缆挤出成型机头	264
第6章 气动成型模具	267
6.1 中空吹塑制品结构设计与工艺性	267
6.2 中空吹塑成型工艺及模具	270
6.2.1 挤出吹塑成型	270
6.2.2 注射吹塑成型	274
6.2.3 拉伸吹塑成型	277
6.2.4 多层吹塑成型	278
6.3 真空成型模具	278
6.3.1 真空成型的分类	278
6.3.2 真空成型塑件设计	279
6.3.3 真空成型模具设计	280
6.4 压缩空气成型模具	281
6.4.1 压缩空气成型的分类与塑件设计	281
6.4.2 压缩空气成型模具设计	281
第7章 塑料模具设计与材料选择	284
7.1 塑料模寿命与塑料模材料的选用	284
7.1.1 塑料模具零件对材料的要求	284
7.1.2 塑料模具材料的合理选用	284
7.1.3 塑料模具常用材料	285
7.2 塑料模具的设计	286
7.2.1 原始资料的分析	286
7.2.2 塑料模具设计程序	286
第8章 塑件与模具的 CAD/CAM/CAE 简介	288
8.1 概述	288
8.2 塑件的计算机辅助设计	288
8.2.1 概述	288
8.2.2 塑件设计的一般过程	289
8.2.3 塑件设计要求	291
8.3 塑料注射模具结构的计算机辅助设计	291
8.3.1 注射模计算机辅助设计的特点	291
8.3.2 注射模计算机辅助设计的主要内容	292
8.4 注射模计算机辅助工程 (CAE) 简介	293
8.4.1 注射模计算机辅助工程的主要内容	294
8.4.2 注射模 CAE 的应用	294
8.5 模具设计专家系统简介	295
8.5.1 专家系统结构	295
8.5.2 专家系统在塑料注射成形中的应用	296
附 录	298
参考文献	302

绪 论

1. 塑料及塑料工业的发展概况

塑料是以树脂为主要成分的高分子有机化合物，一般相对分子质量都大于1万，有的甚至可达百万级。塑料在一定温度和压力下具有可塑性，可以利用模具成型为一定几何形状和尺寸的塑料制件。塑料制件在工业中的应用日趋普遍，这是由于它们具有一系列特殊的优点所决定的。

(1) 密度小、质量轻。一般塑料的密度在 $0.83 \sim 2.2 \text{ g/cm}^3$ 之间，相当于钢材密度的 11% 和铝材密度的 50% 左右，即在同样的体积下，塑料制件要比金属制件轻得多，这一特性对交通工具和空间飞行器显得特别重要。因为这样它们可以减轻自重而提高速度，提高装载及运输能力并节约能源。另外塑料还特别适合制造轻巧的日用品和家用电器零件。

(2) 塑料比强度 (σ_b/ρ) 高，比刚度 (E/ρ) 高。普通塑料的强度约为金属材料的 1/10，但因塑料质量轻，所以比强度相当高，尤其是以各种高强度的纤维状、片状或粉末状的金属或非金属为填料而制成较高强度的增强塑料，如玻璃纤维增强塑料，其比强度比一般钢材的比强度还高。塑料的比刚度（又称比弹性模量）也较高。比强度和比刚度高，在某些场合（如空间技术领域）具有重要的意义。例如碳纤维和硼纤维增强塑料可用于制造人造卫星、火箭、导弹上的高强度，刚度好的结构零件。

(3) 化学稳定性高。塑料对酸、碱、盐、蒸汽和许多化学药品都有良好的耐腐蚀能力，其中聚四氟乙烯塑料的化学稳定性最高，就连“王水”对它也无可奈何，所以称之为“塑料王”。

因此塑料在化工设备和其他腐蚀条件下工作的设备以及日用工业中应用广泛。最常用的耐腐蚀塑料是硬质聚氯乙烯，它可加工成管道、容器和化工设备中的零部件。

(4) 电绝缘性能好，介电损耗低。由于塑料具有优良的电绝缘性和耐电弧性，所以广泛用于电机、电器和电子工业中做结构零件和绝缘材料，从一般的零件（如旋钮、接线板、插座等）到大型壳体（如电视机外壳等）都可以用塑料来制造。

(5) 耐磨和自润滑性能好。由于塑料的摩擦系数小、耐磨性高、自润滑性能好，加上比强度高，传动噪声小，因而可以在各种液体（包括油、水和腐蚀介质）、半干和干摩擦条件下有效地工作，可以制造轴承、轴瓦、齿轮、凸轮和滑轮等机械零件，还可黏贴或喷涂机床金属导轨（用尼龙 1010）、制造刹车块（用石棉酚醛塑料）等。

(6) 消声和吸振性能好。用塑料制成的传动摩擦零件噪声小，吸振性能好。

此外，塑料还有着优良的绝热性能、黏结性能及易成型加工性能。因此塑料已从代替部分金属、木材、皮革及无机材料发展成为各个部门不可缺少的一种化学材料，并跻身于金属、纤维材料和硅酸盐三大传统材料之列，在国民经济中，塑料制件已成为各行各业不可缺少的重要材料之一。

塑料工业是一个新兴的工业领域，又是一个发展迅速的领域。塑料已进入一切工业部门以



及人们的日常生活中,塑料因其材料易得、性能优越、加工方便,而广泛应用于机械、电子、电信、化工、建材、包装、日用品消费、农业、交通运输等各个领域,并显示出巨大的优越性和发展潜力。当今世界把一个国家的塑料消耗量和塑料工业水平,作为衡量其工业发展水平的重要标志之一。

随着机械、电子、日用五金等工业产品塑料化趋势的不断增强,及塑料制品(塑件)的广泛应用与迅速更新换代、不断发展,对塑料成型技术的发展与塑料模具在数量、质量、精度和复杂程度等方面都提出了更高的要求,这就要求从事塑料成型和模具设计的人员更多地掌握塑料成型及塑料模具设计方面的知识。

2. 模具工业在国民经济中的重要性

模具是工业生产中的重要工艺装备,模具工业是国民经济各部门发展的重要基础之一。模具是利用其特定形状去成型具有一定形状和尺寸的制品的工具。在各种材料加工中广泛地使用各种模具,如在金属铸造成型中使用的砂型或压铸模具,金属压力加工中使用的锻造、冲压模具,以及成型陶瓷、玻璃等制品用的模具等。塑料模具就是用于成型塑料制品的模具,是型腔模具的一种。

对塑料模具的全面要求是:能生产出在尺寸精度、外观、物理性能等各方面均能满足使用要求的优质制品。从模具使用角度来看,要求高效率、自动化、操作简便;从模具制造角度来看,要求模具结构合理、制造容易、成本低。

塑料模具影响塑料制品的质量。首先,模具型腔的形状、尺寸、表面光洁度、分型面、浇注系统,及排气槽位置和脱模方式等对制件的尺寸和形状精度及制件的物理性能、机械性能、电性能、内应力大小、各向同性性、外观质量、表面光洁度、气泡、烧焦等都有十分重要的影响;其次,在塑料成型过程中,模具结构对操作难易程度影响很大。在大批量生产中,应尽量减少开合模和取件中的手工劳动,常用自动开、合模和自动顶出机构。在全自动生产中还要保证制件能自动从模具上脱落;另外,模具对塑料制品的成本也有相当的影响。由于制模费十分昂贵(简单模具除外),对于批量不大的制件,应尽量采用结构合理而简单的模具,以降低成本。

塑料模具对实现模具加工工艺要求、塑件使用要求和造型设计起着重要作用。高效全自动的设备也只有装上自动化生产的模具才有可能发挥其效能,产品的生产和更新都是以模具的制造和更新为前提的。由于工业塑件和日用品的品种多且需求量很大,对塑料模具也提出了更高的要求,促使塑料模具生产不断向前发展。

3. 塑料成型技术的发展趋势

在塑料成型生产中,先进的模具设计、高质量的模具制造、优质的模具材料、合理的加工工艺和现代化的成型设备等是成型优质塑件的重要条件。一副优良的注射模具可以成型上百万次,一副优良的压缩模具可以成型 25 万次以上,这与上述因素有很大的关系。

考察国内外模具工业的现状及我国国民经济和现代工业品中模具的地位,从塑料成型模具的设计理论、设计实践和制造技术出发,塑料成型技术大致有以下几个方面的发展趋势。

(1) CAD/CAE/CAM 技术在模具设计与制造中的应用。经过多年的推广应用,模具设计“软件化”和模具制造“数控化”已经在我国模具企业中成为现实。采用 CAD 技术是模具生产的一次革命,是模具技术发展的一个特点。应用模具 CAD 系统后,模具设计借助计算机完成传统设计中各个环节的设计工作,大部分设计与制造信息由系统直接传送,图纸不再是设计与制造环节的分界线,也不再是制造、生产过程中的唯一依据。近年来,CAD/CAE/CAM 技术发展主要有如下特点。

1) 模具 CAD 技术及其应用日趋成熟。模具 CAD/CAM 技术日益深入人心, 并且发挥着越来越重要的作用。在上个世纪, 能够进行复杂形体几何造型和 NC 加工的 CAD/CAM 系统, 主要是在工作站上采用 UNIX 操作系统开发和应用的, 如美国的 Pro-E、UG II、CADD5 软件等。随着计算机技术的突飞猛进, 新一代 CAD/CAM 软件 (如 Solidworks、Solidedge) 崭露头角, 并深得用户好评。这些软件不仅在采用诸如 NURBS 曲面、三维参数化特征造型等先进技术方面继承了工作站级 CAD/CAM 软件的优点, 而且在 Windows 风格、动态导航、特征树、面向对象等方面有工作站软件所不能比拟的优点。

2) 基于网络化的 CAD/CAE/CAM 一体化系统结构初见端倪。随着计算机硬件和软件的进步以及工业部门的实际需求, 国外许多著名计算机软件开发商已能按实际生产过程中的功能要求划分产品系列, 在网络系统下实现了 CAD/CAM 的一体化, 解决了传统混合型 CAD/CAM 系统无法满足实际生产过程分工协作的要求, 更能符合实际应用的自然过程。

3) CAD/CAM 软件的智能化程度正在逐渐提高。由于现阶段模具设计和制造在很大程度上仍然依靠模具设计和制造的经验, 任何一个企业, 要掌握全部先进的技术, 成本都将非常昂贵, 要培养并且留住掌握这些技术的人才也会非常困难。于是, 模具 CAD 的 ASP 模式就应运而生, 应用服务包括逆向设计、快速原型制造、数控加工外包、模具设计和模具成型过程分析等, 这样使得许多用于模具加工的数控机床统一化、一体化, 使整个社会的模具制造企业按照价值链和制造流程分工, 制造资源得以利用。

4) CAE 技术正在逐步推广。利用 CAE 技术可以在模具加工前, 在计算机上对整个注塑成型过程进行模拟分析, 准确预测熔体的填充、保压、冷却情况, 以及塑件中的应力分布、分子和纤维取向分布、制品的收缩和翘曲变形等情况, 以便设计者能及早发现问题, 及时修改制件和模具设计, 而不是等到试模以后再返修模具。这是对传统模具设计方法的一次变革与突破。CAE 分析技术主要应用于塑料产品设计、模具设计和注塑成型。在塑料产品设计方面, 利用流动分析熔融塑料能否填满模具型腔、制件实际最小壁厚的确定、浇口位置是否合适; 在模具设计和制造方面, CAE 分析可以指出模具良好的填充形式、最佳的浇口位置与浇口数量、流道系统的优化设计和冷却系统的优化设计, 减小返修成本; 注射成型方面, 可以给出更加宽广而稳定的加工“裕度”、减小塑件应力和翘曲、省料和减少过量充模以及采用最小的流道尺寸和回用料成本。

因此在大型复杂塑料模具设计过程中, 浇注系统的熔体流动模拟显得必不可少。澳大利亚 Moldflow 公司的三维真实感流动模拟软件 Moldflow, Adviser 已经受到用户广泛的好评和应用。在国内, 以华中科技大学的 HSCAE 及郑州工业大学的 Z-mold 流动模拟软件为代表的同类软件也在不断地推广和应用。

(2) 大力发展快速原型制造。塑料模的模具型腔由凹模和凸模组成。对于形状复杂的曲面塑料制件, 为了缩短研制周期, 在现代模具制造技术中, 可以不急于直接加工出难以测量和加工的模具凹模和凸模, 而是采用快速原型制造技术, 先制造出与实物相同的样品, 判断样品是否满足设计要求和工艺要求, 然后再开发模具。快速原型制造 (RPM) 技术是一种综合运用计算机辅助设计技术、数控技术、激光技术和材料科学的发展成果, 采用分层增材制造的新概念取代了传统的去材加工或变形法加工, 是当代最具有代表性的制造技术之一。快速原型制造工艺方法有选区激光烧结、熔融堆积造型和叠层制造等多种。利用快速成型技术可快速地制造出任意复杂的甚至连数控设备都极难制造或根本无法制造的产品样本, 这样大大减少了产品开发风险和加工费用, 缩短了研制周期。值得关注的是, RPM 技术已发展到通过金属粉末直接烧结或熔射沉积直接制造模具的研究阶段。



迅速发展的 RPM 技术起源于二十世纪八十年代,它对传统的模具制造技术产生了深远的影响。目前,我国的一些大学正在生产和进一步地开发研制这种先进的快速原型制造设备。该项先进制造技术在国内少数的塑料企业已经开始得到应用,并且正在大力推广中。

(3) 研究和应用模具的快速测量技术与逆向工程。在塑料产品的开发设计与制造过程中,设计与制造者往往面对的并非是由 CAD 模型描述的复杂曲面实物样件,这就必须通过一定的三维数据采集方法,将这些实物原型转化为 CAD 模型,从而获得零件几何形状的数学模型,使之能利用 CAD、CAM、RPM 等先进技术进行处理或管理。这种将实物样件获取产品数学模型的相关技术,称为逆向工程或反求工程技术。对于具有复杂自由曲面零件的模具设计,可采用逆向工程技术。首先获取其表面几何点的数据,然后通过 CAD 系统对这些数据进行预处理,并考虑模具的成型工艺性再进行曲面重构以获得模具的凹模和凸模的型面,最后通过 CAM 系统进行数控编程,完成模具的加工。原型实样表面三维数据的快速测量技术是逆向工程的关键。三维数据采集可采用接触式(如三坐标测量机测量和接触扫描测量)和非接触式(如激光摄像法等)方法进行。采用逆向工程技术,不但可缩短模具设计周期,更重要的是可以提高模具的设计质量,提高企业快速应变市场的能力。逆向工程是一项先进现代模具成型技术,目前,国内能采用该项技术的企业不多,应逐步加以推广和应用。

(4) 发展优质模具材料和采用先进的热处理与表面处理技术。模具材料的选用在模具设计与制造中是一个涉及模具加工工艺、模具使用寿命、塑料制件成型质量和加工成本等的重要问题。国内外模具材料的研究工作者在分析模具的工作条件、失效形式和如何提高模具使用寿命的基础上进行了大量的研究工作,开发研制出具有良好使用性和加工性、热处理变形小、抗热疲劳性能好的新型模具钢种,如预硬钢、耐腐蚀钢等。另外,模具成型零件的表面抛光处理技术和表面强化处理技术的发展也很快,国内许多单位进行了研究与工程实践,取得了一些可喜的成绩。模具热处理的发展方向是采用真空热处理,国内许多热处理中心和有些大中型模具企业已经应用并且正在进一步推广。模具表面处理除常用表面处理方法(如渗碳、渗氮、渗硼、渗铬、渗钒)外,还应发展设备昂贵、工艺先进的气相沉积、等离子喷涂等技术,目前上述研究与开发工作正在不断地深入进行,已取得的成果也正在大力推广。

(5) 提高模具标准化水平和模具标准件的使用率。模具标准化的水平在某种意义上也体现了某个国家模具工业发展的水平。采用标准模架和使用标准件,可以满足大批量制造模具和缩短模具制造周期的需要。经过一段时期的建设,我国模具标准化程度正在逐步提高,估计目前我国模具标准件使用覆盖率已达到 40% 左右。发达国家的模具标准件使用覆盖率一般为 80% 左右。为了适应模具工业的发展,模具标准化工作必将加强,模具标准化程度将进一步提高,模具标准件生产也必将得到发展。目前我国塑料模具标准化工作有了一定的进展,GB/T 12555—2006 是塑料注射模架的国家标准,它替代了原来的 GB/T 12555—1990 (大型注射模架)和 GB/T 12556.1—1990 (中小型注射模架);GB/T 4169.1—2006~GB/T 4169.23—2006 是塑料模架的 23 个技术条件的标准,也是在原来的 12 个注射模零件的基础上发展起来的。现在国内有一定生产规模的模具标准件生产企业已超过 100 家,主要产品有塑料模架、侧冲装置、推杆推管等,其中塑料模架已可生产较大产品,为发展大型精密模具打下了基础。许多工厂还有各自的企业标准。

热流道标准元件和模具的温度控制标准装置,以及精密标准模架和精密导向元件目前都在进行重点研究和开发,已经取得了一些成果并正在推广应用,但与国外工业先进国家的模具标准化程度相比较,在标准体系、标准件的品种和规格以及标准化的管理工作等方面仍有较大的差距。因此提高模具标准化水平和模具标准件的使用率仍然是今后一段时期内我国模具工作

者的一项任务。

(6) 模具的复杂化、精密化与大型化。为了满足塑料制品在各种工业产品中的使用要求,塑料成型技术正朝着复杂化、精密化与大型化方向发展,例如汽车的保险杠和某些内装饰件等塑料件的成型。大型塑料件和精密塑料件的成型,除了必须研制开发或引进大型和精密的成型设备外,需要采用先进的模具 CAD/CAE/CAM 技术来设计与制造,否则,这类投资很大的模具研制将难以获得成功。

面对激烈的市场竞争,我国要从模具大国迈向模具强国,应调整产品结构,增强大型、复杂、精密模具的自主开发能力,以提高产品的市场竞争能力。国外近年来发展的一些数控机床,已向更高的敏捷化、智能化、集成化方向发展,为大型模具制造注入了新的活力。

(7) 模具工业信息化。采用信息技术可以带动和提升模具工业的制造水平,推动模具工业技术的进步。在整体规划的指导下,应该着重抓好 CAD/CAE/CAPP/CAM 一体化,并不断提升单元技术和合成技术水平;实现 PDM(产品数据管理)系统的开发与应用,提高产品设计能力;实现 ERP(企业资源规划)系统的开发与应用;将公司的所有资源统一管理起来,包括物流、资金流和信息流。

4. 本课程的任务及要求

本课程包括塑料成型工艺和塑料成型模具设计两大主题,根据专业特点,侧重于模具设计方面。通过学习本课程,应达到如下目的。

(1) 了解塑料成型理论知识、各种常用塑料成型基本理论及工艺特点。

(2) 掌握各类成型模具的结构特点及设计计算方法,能独立设计中等复杂程度的模具。

(3) 具有初步分析、解决成型现场技术问题的能力,包括具有初步分析成型缺陷产生的原因和提出解决办法的能力。

《塑料成型工艺与模具设计》是一门实践性很强的课程,它的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重视书本的理论学习外,应特别强调理论联系实际,进行现场教学、实验、实习、课程设计。塑料成型加工技术发展很快,塑料模具的各种结构也在不断地创新,我们在学习成型工艺与模具设计的同时,还应注意了解与塑料模相关的新技术、新工艺和新材料的发展动态,学习和掌握新知识,为振兴我国的塑料成型加工技术作出贡献。

第 1 章

塑料概论

学习目标

1. 理解高聚物的特性；
2. 理解塑料的概念、各组成物的作用、塑料的分类；
3. 热固性、热塑性塑料两个概念的区别；
4. 熟悉并掌握塑料的工艺性能并了解塑料的使用性能及用途。

1.1 高聚物的分子结构

1.1.1 树脂与塑料的概念

树脂包括天然树脂和合成树脂。天然树脂是指从树木、动物、石油中分泌出的脂物，如松香是从松树分泌出的乳液状松脂中分离出来的；虫胶是从热带昆虫的分泌物中提取的；而沥青是从石油中得到的。这些天然树脂无明显的熔点，受热后逐渐软化，可溶解于有机溶剂，不溶解于水等。随着生产的发展，天然树脂不仅在数量上而且在质量上都远远不能满足需要，于是人们根据天然树脂的分子结构和特性，应用人工方法制造出了合成树脂。例如酚醛树脂、氨基树脂、环氧树脂、聚乙烯、聚氯乙烯等都属于合成树脂。

塑料是以树脂为主要成分，添加一定数量和一定类型的添加剂，在加工过程中能够形成流动的成型材料。由于添加剂所占比例比较小，塑料的性能主要取决于合成树脂的性能。

1.1.2 高聚物的分子结构与特性

无论是天然树脂还是合成树脂，它们都属于高分子聚合物，简称高聚物。塑料的许多优异性能都与高聚物的分子结构密切相关。我们知道，低分子化合物中所含的原子数一般都不多。例如一个水分子 H_2O 由 3 个原子构成，一个石灰石分子 CaCO_3 由 5 个原子构成。再复杂一点的化合物，其分子中所含的原子数最多也不过是几百个。但是，高聚物则不同，一个高聚物分子中含有成千上万、甚至几十万个原子。例如，尼龙分子中大约含有 4 千个原子，天然橡胶分子中大约含有 5 万到 6 万个原子，纤维素（木材中含有此成分）分子中大约含有 10 万到 20 万个原子。从相对分子质量来看，低分子化合物的相对分子质量只有几十或几百，如水的相对分子质量为 18，石灰石为 100；而高聚物的相对分子质量比低分子化合物的高得多，一般从几万至上千万。例如，尼龙分子的相对分子质量为 2.3 万左右，天然橡胶为 40 万。再从分子长度来看，低分子乙烯的长度约为 $0.0005\mu\text{m}$ ，而高分子聚乙烯的长度为 $6.8\mu\text{m}$ ，后者是前者的 13600 倍。

由此可见，高分子是含有原子数很多、相对分子质量很高、分子很长的巨型化合物。正是

由于高分子化合物与低分子化合物的分子结构存在着如此悬殊的差异,才使高聚物具有许多与低分子化合物很不相同的特性。

单就分子中所含原子个数、相对分子质量的大小和分子的长短还不足以表达高分子的结构特性。每个高分子里含有按照一定的方式排列的一种或数种原子或原子团,再通过化学链连成一个高分子。例如聚乙烯分子里的小单元为 C_2H_4 , 每个聚乙烯分子里含有 n 个像下面这样连接起来的小单元:



这些小单元称为“链节”,好像链条里的每个链节; n 称为“链节数”(聚合度),表示有多少链节聚合在一起。由许多链节构成一个很长的高聚物分子,称为“分子链”。例如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高聚物的小分子)。

如果高聚物的分子链呈不规则的线状(或者团状),高聚物是由一根根分子链组成的,则称为线型高聚物,如图 1-1(a)所示。如果在大分子的链之间还有一些短链把它们相互交联起来,成为立体结构,则称为体型高聚物,如图 1-1(b)所示。此外,还有一些高聚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 1-1(c)所示,称为带有支链的线型高聚物。

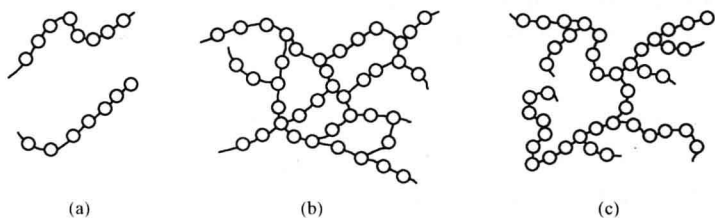


图 1-1 高聚物分子链结构示意图

(a) 线型; (b) 体型; (c) 带有支链线型

高聚物的分子结构不同,其性质也不同。线型高聚物具有弹性和塑性,在适当的溶剂中可溶胀或溶解,升高温度时则软化至熔化状态并可流动,而且这种特性在高聚物成型前后都存在,因而可以反复成型,所以称为热塑性材料。体型高聚物脆性大,弹性较高,塑性很低,在成型前是可溶的,一经成型硬化后,就成为既不溶解又不熔融的固体,不能再次成型,所以称为热固性材料。

1.1.3 结晶型和非结晶型高聚物的结构与特性

对于某些固体材料,如果它们中的质点既是近程有序,又是远程有序,则可将它们称为晶体材料,反之则称为非晶材料。高聚物的结构按照分子排列的几何特点,也可以分为结晶型和非结晶型两大类型,其中非结晶型高聚物又叫做无定形高聚物。

结晶型高聚物由“晶区”(分子作有规则紧密排列的区域)和“非晶区”(分子处于无序状态的区域)所组成。晶区所占的质量百分数称为结晶度。例如低压聚乙烯在室温时的结晶度为 85%~90%。通常当高聚物的分子结构简单,主链上带有的侧基体积小,对称性高,分子间作用力大时,有利于结晶;反之,则对结晶不利或不能形成结晶区。结晶只发生在线型高聚物和含交联链不多的体型高聚物中。

结晶对高聚物的性能影响重大,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,所以使高聚物的强度、硬度、刚度,及熔点、耐热性和耐化学性等性能都有所提高;而

与链运动有关的性能,如弹性、伸长率和冲击强度等则降低。

对无定形高聚物的结构,过去一直认为其分子排列是杂乱无章、相互穿插交缠的,但用电子显微镜观察,发现无定型高聚物的质点排列不是完全无序的,而是大距离范围内无序,小距离范围内有序,即“远程无序,近程有序”。体型高聚物由于分子链间存在大量交联,分子链难以作有序排列,所以都具有无定形结构。

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

高聚物的物理、力学性能与温度密切相关,温度变化时,高聚物的受力行为发生变化,呈现出不同的力学状态,表现出分阶段的力学性能特点。高聚物在不同温度下的力学状态,就是高聚物的热力学性能。这些性能在很大程度上决定了塑料对加工的适应性。下面以热塑性材料为例说明受恒应力作用时变形程度与温度的关系。

热塑性材料可以有三种物理聚集状态:玻璃态、高弹态和黏流态。三种物理状态之间可以相互转变,它体现了分子链在不同温度、力场作用下,分子运动状态和分子间的相互作用。图1-2为高聚物的三种物理状态与温度的关系(高聚物的温度-形变曲线)。

1. 玻璃态

温度低于 T_g (玻璃化温度),曲线基本是水平的,高聚物不仅整个分子链不能运动,连单个链节也失去了曲挠性,变得像玻璃那样坚硬,即表现为玻璃态。此时,塑料的弹性模量较高,变形程度小。由于塑料的 T_g 温度高于室温,所以一般使用的塑料都处于玻璃态。

2. 高弹态

当温度上升,高于 T_g 低于 T_f (黏流化温度)时,曲线开始急剧变化,但很快稳定趋于水平。高聚物变得像橡胶一样柔软而富有弹性,这种状态叫做高弹态。此时塑料的弹性模量显著减小,形变能力大大增强,外力去除变形量可以回复,变形是可逆的。

3. 黏流态

当温度继续上升高于 T_f ,变形迅速发展,弹性模量再次很快下降,高聚物即产生黏性流动,成为黏流态,常称之为熔体。此时的变形是不可逆的黏性变形。塑料在冷却后将形变永久保持下去。

当温度过高超过 T_d (热分解温度)时,大分子链裂解,高聚物降解成为低聚物或单体,不再具有高聚物的性能,材料被破坏(热分解)。所以 $T_f \sim T_d$ 是塑料成型加工的范围,这个范围越宽,塑料成型加工就越容易进行。

综上所述,高聚物的成型加工是在黏流状态中实现的。黏流化温度 T_f 是高聚物成型加工的最低温度。欲使高聚物达到黏流态,加热只是方法之一。还可以通过加入增塑剂降低高聚物的黏流温度。黏流温度不仅与高聚物的化学结构有关,而且与其相对分子质量的大小有关。黏流温度随相对分子质量的增加而升高。

以上所述是热塑性材料的热力学性能,而热固性材料由于分子运动阻力很大,一般随温度

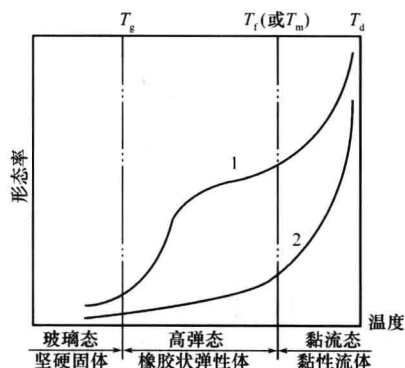


图 1-2 聚合物的热力学曲线

1—非晶型树脂; 2—晶型树脂